

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

КАЙЧЕНОВ

Александр Вячеславович

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

Специальность 2.3.3 –Автоматизация и управление
технологическими процессами и производствами

Диссертация на соискание учёной степени
доктора технических наук

Научный консультант:

Благовещенский Иван Германович
доктор технических наук, доцент

Мурманск – 2022

СОДЕРЖАНИЕ

–	ВВЕДЕНИЕ	7
–	ГЛАВА 1. Аналитический обзор литературы в области автоматизации тепловой обработки пищевых продуктов	15
	<i>1.1 Анализ «дорожной карты» рынка НТИ FOODNET.....</i>	<i>15</i>
	<i>1.2 Анализ стратегии развития рыбной промышленности россии</i>	<i>19</i>
	<i>1.3 Анализ стратегии развития информационного общества в российской федерации на 2017 - 2030 годы.....</i>	<i>22</i>
	<i>1.4 Анализ процесса регулирования температуры при традиционном способе стерилизации консервов.....</i>	<i>26</i>
	<i>1.5 Анализ исследований в области совершенствования процесса стерилизации консервов</i>	<i>27</i>
	<i>1.6 Анализ исследований в области совершенствования систем управления процессами копчения и обезвоживания пищевых продуктов</i>	<i>44</i>
	<i>1.7 Критический анализ результатов обзора литературы.....</i>	<i>45</i>
	<i>1.8 Постановка цели и задачи исследования.....</i>	<i>49</i>
	<i>Выводы по 1 главе</i>	<i>50</i>
–	ГЛАВА 2. Объекты, методы исследования и организация экспериментов	51
	<i>2.1 Программно-целевая модель исследований.....</i>	<i>51</i>
	<i>2.2 Объекты исследования.....</i>	<i>52</i>
	<i>2.3 Методы исследования</i>	<i>69</i>
	<i>2.4 Условия и организация экспериментов.....</i>	<i>73</i>
	<i>2.5 Выбор направления модернизации способов тепловой обработки пищевых продуктов</i>	<i>75</i>
	<i>2.6 Управление тепловой обработкой консервов, основанный на прогнозировании F-эффекта.....</i>	<i>77</i>
	<i>2.7 Управление тепловой обработкой при обезвоживании и копчении пищевых продуктов с прогнозированием эффекта обезвоживания.....</i>	<i>84</i>
	<i>Выводы по 2 главе</i>	<i>85</i>
–	ГЛАВА 3. Результаты исследований тепловой обработки пищевых продуктов в автоклавах	87
	<i>3.1 Исследование цифровых комплексов регистрации температуры, применяемых при научном обосновании режимов тепловой обработки продуктов питания в автоклавах</i>	<i>87</i>

3.2	<i>Исследование температурного поля автоклавов ASCAMAT-230 И АВК-30М.....</i>	94
3.3	<i>Исследование режима стерилизации традиционным способом консервов «Печень трески натуральная»</i>	98
3.4	<i>Идентификация параметров математической модели консервов «Печень трески натуральная» в банке Impress</i>	100
3.5	<i>Исследование способов управления процессом стерилизации консервов.....</i>	101
3.6	<i>Сопоставление модернизированного и традиционного способов стерилизации</i>	108
3.7	<i>Разработка режимов стерилизации консервов из гидробионтов с использованием средств вычислительной техники</i>	110
	<i>Выводы по 3 главе</i>	112
–	ГЛАВА 4. Практическая реализация результатов исследований тепловой обработки водных биоресурсов Арктики в автоклавах	114
4.1	<i>Модуль МИСТ.АВТОМАТИКА.....</i>	114
4.2	<i>Модуль МИСТ.ОПТИМУМ.....</i>	127
4.3.	<i>Модуль МИСТ.ЭКОНОМАЙЗЕР</i>	134
4.4	<i>Модуль МИСТ.ПРОЕКТИРОВАНИЕ_РЕЖИМА.....</i>	135
4.5	<i>Цифровое моделирование и оптимизация процесса стерилизации консервов.....</i>	137
4.6	<i>Прогнозирование значения F-эффекта при разработке новых режимов тепловой обработки консервов.....</i>	145
4.7	<i>Разработка и применение программного обеспечения расчета фактической летальности процессов тепловой обработки консервированных пищевых продуктов.....</i>	150
4.8	<i>«Цифровая сертификация» режимов стерилизации консервной продукции с применением цифровых двойников</i>	155
4.9	<i>Разработка модели тепловых процессов автоклава для тренажера процесса стерилизации консервов.....</i>	159
	<i>Выводы по 4 главе</i>	162
–	ГЛАВА 5. Практическая реализация результатов исследований тепловой обработки водных биоресурсов Арктики в копильно-сушильных установках	164
5.1	<i>Структура автоматизированной системы управления процессом копчения пищевых продуктов.....</i>	164
5.2	<i>Модернизация системы автоматического управления универсальной копильно-сушильной установкой.....</i>	165

5.3	<i>Моделирование системы автоматического управления процессом копчения пищевых продуктов.....</i>	169
5.4	<i>Иерархическая структура системы автоматического управления процесса копчения пищевых продуктов.....</i>	174
5.5	<i>Моделирование многоконтурной системы управления универсальной коптильно-сушильной установки.....</i>	176
5.6	<i>«Цифровая сертификация» энергоэффективных режимов обезвоживания сырья с применением «цифровых двойников»</i>	184
5.7	<i>Разработка системы автоматического управления процессом сушки продукции из гидробионтов</i>	186
5.8	<i>Разработка математической модели установки УПОР-М.....</i>	192
	<i>Выводы по 5 главе</i>	194
–	ГЛАВА 6. Исследование систем управления процессами тепловой обработки водных биоресурсов Арктики с использованием интеллектуальных технологий	196
6.1	<i>Нечеткая экспертная подсистема оценки качества консервов</i>	196
6.2	<i>Управление с прогнозирующими моделями контура температуры универсальной коптильно-сушильной установки</i>	200
6.3	<i>Нейросетевой прогнозирующий регулятор контура температуры универсальной коптильно-сушильной установки</i>	204
6.4	<i>Нейросетевой прогнозирующий регулятор контура температуры малогабаритной сушильной установки.....</i>	206
6.5	<i>Управление с прогнозирующими моделями контура температуры малогабаритной сушильной установки.....</i>	208
6.6	<i>Управление с применением ПИД-регулятора с нечеткой коррекцией коэффициентов контура температуры малогабаритной сушильной установки.....</i>	210
	<i>Выводы по 6 главе</i>	214
–	ОБЩИЕ ВЫВОДЫ	216
–	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	220
–	СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	222
–	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	224
–	ПРИЛОЖЕНИЯ	307
–	ПРИЛОЖЕНИЕ 1 – Акт о внедрении малогабаритной установки для поиска оптимальных технологических режимов сушки в производство	307

- **ПРИЛОЖЕНИЕ 2 – Акт о внедрении стерилизационной установки АВК-30М в УЭЦ МГТУ.** **309**
- **ПРИЛОЖЕНИЕ 3 – Акты о внедрении диссертационных исследований в учебный процесс** **311**
- **ПРИЛОЖЕНИЕ 4 – Акт о внедрении программы для ЭВМ «Filter_for temp для универсальной коптильно-сушильной установки»** **313**
- **ПРИЛОЖЕНИЕ 5 – Акт о внедрении программы для ЭВМ «Pid_Temp для универсальной коптильно-сушильной установки»** **314**
- **ПРИЛОЖЕНИЕ 6 – Акт о внедрении программы для ЭВМ «Fchange для универсальной коптильно-сушильной установки»** **315**
- **ПРИЛОЖЕНИЕ 7 – Акт о внедрении программы для ЭВМ «Plc_Prg для универсальной коптильно-сушильной установки»** **316**
- **ПРИЛОЖЕНИЕ 8 – Акт о внедрении программы для ЭВМ «Ip320 для универсальной коптильно-сушильной установки»** **317**
- **ПРИЛОЖЕНИЕ 9 – Акт о внедрении программы для ЭВМ «Модуль задания режимов релаксации»** **318**
- **ПРИЛОЖЕНИЕ 10 – Акт о внедрении программы для ЭВМ «Программа пятиканального блока управления фазовыми регуляторами напряжения»** **319**
- **ПРИЛОЖЕНИЕ 11 – Акт о внедрении программы для ЭВМ «Пятиканальный программный шим для управления вентиляторами постоянного тока»** **320**
- **ПРИЛОЖЕНИЕ 12 – Акт о внедрении программы для ЭВМ «Программа управления секциями установки для поиска оптимальных технологических режимов»** **321**
- **ПРИЛОЖЕНИЕ 13 – Акт о внедрении программы для ЭВМ «Модуль подсчета электроэнергии, затраченной на технологический процесс»** **322**
- **ПРИЛОЖЕНИЕ 14 – Акт о внедрении программы для ЭВМ «Модуль расчета потерь массы сырья»** **323**

- ПРИЛОЖЕНИЕ 15 – Описание экспериментов при идентификации параметров модели процесса копчения пищевых продуктов. 324**
- ПРИЛОЖЕНИЕ 16 – Описание имитационной модели автоклава Н2-ИТА-602. 338**
- ПРИЛОЖЕНИЕ 17 – Акты о внедрении результатов НИР в производство 344**
- ПРИЛОЖЕНИЕ 18 – Акт о внедрении результатов НИР в производство 346**

Введение

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 требуют 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, Красинский, А.Е. Краснов, О.П. Красуля, В.В. Макаров, В.В. Митин, Остапчук Н.В., Письменный В. В., И.К. Петров, Е.А. Прокофьев, А.В. Татарин, 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 внесли 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 развитии методов системного анализа, моделирования – 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 рыбных продуктов с использованием интеллектуальных технологий.

Достижение поставленной цели возможно при решении следующих задач:

- провести исследования 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 обработки 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 ОБЕН), MiST. Подпрограмма «Блокировка» для АВК-30М, модуль расчета вспомогательных параметров в модели автоклава на шаге квантования, Modeller, 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, PID_TEMP для универсальной коптильно-сушильной установки, PLC_PRG для универсальной коптильно-сушильной установки, вычисление адресов регистров CoDeSys для панели оператора «ОБЕН» 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 «Малогоабаритная 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;
- предложены 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, или 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 приложений. 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.

ГЛАВА 1. Аналитический обзор литературы в области автоматизации тепловой обработки пищевых продуктов

1.1 Анализ «дорожной карты» рынка НТИ FOODNET

Концепция «дорожной карты» утверждена экспертной комиссией по рассмотрению дорожной карты рынка FoodNet от 27.11.2020 г .

FoodNet – крупнейший рынок потребительской продукции в мире, открытый для интеграции новых наукоемких технологий, от роботизации и IT в сегментах Агротех и Фудтех до биотехнологий, стимулирующий рост экономики и способный радикально повысить доступность и качество питания [183].

Целью дорожной карты FoodNet является формирование глобально конкурентоспособной отечественной «агропищевой индустрии 4.0». Основой такой индустрии в «Дорожной карте» являются новые производственные, логистические и сбытовые решения, основанные на цифровизации, сетевых рыночных моделях, кастомизации продуктов и услуг, биотехнологиях и ресурсоэффективности [183].

В «Дорожной карте» отражены научно-технологические заделы в областях агро- и промышленных биотехнологий, которые носят фундаментальный характер и требуют развития прикладных решений при масштабировании разработок до уровня промышленных производств. В основе развития цифровых технологий FoodNet лежат сильные математические школы и успешные отечественные IT-компании являются [183].

«Дорожная карта» устанавливает технологические пакеты 6-го технологического уклада: большие данные, машинное обучение, искусственный интеллект, блокчейн, геокосмические технологии, гиперконнективность, новые материалы, автоматизация и роботизация, 3D-принтинг, нейротехнологии и технологии VR&AR, промышленные биотехнологии, геномные и постгеномные технологии [183].

В рамках цепочек создания ценности FoodNet затрагивает все этапы от генетики и современной сырьевой базы до умной логистики и переработки отходов, включая сопутствующее ПО, цифровые платформенные решения [183].

Задачами FoodNet являются:

- технологическая трансформация консервативных секторов экономики;
- обеспечение национальной и продовольственной безопасности;
- повышение качества жизни населения;
- долгосрочную конкурентоспособность и опережающее технологическое развитие химической, биотехнологической, машиностроения, агро- и пищевой отрасли [183].

Из большинства подсегментов рынка FoodNet более 10 сегментов находятся на ранней стадии формирования и не имеют устоявшихся стандартов и явных лидеров [183].

«Дорожная карта» предполагает внедрение единой цифровой платформы для сбора, хранения и обработки данных. Внедрение платформы на предприятиях пищевой промышленности позволит повысить эффективность традиционных производственных процессов, а также создать принципиально новые продукты и услуги [183].

FoodNet предполагает замену традиционных бизнес-моделей в консервативных агро- и пищевой отраслях на новые высокотехнологичные решения в 5-ти ключевых сегментах рынка: новые источники сырья и пищи, умная логистика, умное сельское хозяйство, персонализированное питание, биологизированное и органическое хозяйство [183].

Развитие промышленности для рынка FoodNet предполагает развитие технологий, позволяющих обеспечить: содержание питательных веществ в пище под конкретного конечного потребителя; рост эффективности и безопасности первичного производства продукции; оптимизацию цепочек поставок и розничной торговли; применение Big Data, машинного обучения, искусственного интеллекта [183].

В «Дорожной карте» особый акцент делается на автоматизацию и роботизацию, что предполагает: применение датчиков и сенсоров нового поколения; обеспечение работы в тяжелых условиях; повышение эффективности; использование мобильных источников энергии. В концепции уделено внимание расширению вычислительных возможностей машин, выполнению ими функций человеческого интеллекта, накоплению больших данных с производственных объектов, новым идеям и прогнозам [183].

В концепции FoodNet развивается идея повышения ценности продукта за счет роста эффективности процесса проектирования, в том числе за счет сокращения отходов, времени и затрат на производство [183].

В концепции отмечено, что в цифровых сегментах FoodNet требуется последовательная господдержка развития IT-отрасли (нацпроекты по цифровизации и искусственному интеллекту, специальные налоговые режимы, IT-технопарки, профильные институты развития) [183].

Одними из возможных причин низким темпов развития IT в FoodNet являются:

- отсутствие профильных биотехнологических акселераторов и агробиотехнопарков;
- отсутствие программно-целевых документов поддержки биотехнологий и недостаток инжиниринговых центров;
- низкая обеспеченность инфраструктурой для биотехнологических проектов [183].

В «Дорожной карте» отмечается значительный исследовательский задел в области промышленных биотехнологий, позволяет разрабатывать современные технологии. Создание промышленных производств [131] требует проектно-ориентированного подхода в вопросах масштабирования технологий [183].

В концепции важное место отведено кадровым IT-ресурсам. Для развития программ в области биотехнологий требуются более качественные и дефицитные на рынке кадры по профилю биотехнологий [183].

В «Дорожной карте» отмечается, что применение искусственного интеллекта снижает затраты на обслуживание оборудования до 40%, повышает точность определения дефектов на 90%, снижает потери при прогнозировании объемов поставок до 50% [183].

Проблемными вопросами FoodNet являются:

- отсутствие программ подготовки кадров с мульти-дисциплинарными знаниями в IT, логистике и биотехнологии для перспективных сегментов рынка FoodNet;
- отсутствие доступных технологий в области автоматизации и роботизации логистики, обеспечения прозрачности цепочек поставок;
- отсутствие программ стимулирования перехода к технологиям, снижающим углеродный след;
- отсутствие сформулированных критериев и алгоритмов, а также общедоступных IT-платформ в области определения микронутрентного статуса потребителя;
- отсутствие базы цифровых двойников в области персонализированного питания;
- нормативные ограничения использования БПЛА, датчиков; блокировка доступа к геоданным высокого разрешения [183].

Создание цифровой платформы для сбора, хранения и обработки данных на предприятиях пищевой промышленности возможно с применением отечественных средств вычислительной техники и программных средств. Разработки таких средств ведутся на кафедре Автоматики и вычислительной техники Мурманского государственного технического университета с 2006 года.

Развитие технологий, применяемых при тепловой обработке пищевых продуктов, позволяет обеспечить содержание питательных веществ в пище под конкретного конечного потребителя повышение эффективности и безопасности первичного производства продукции; применение систем сбора данных в

совокупности с машинным обучением значительно ускорит развитие технологий.

Применение интеллектуальных датчиков на объектах пищевой промышленности значительно расширит возможности систем автоматического управления процессами. Повышение эффективности процессов возможно с применением современных способов проведения процесса в щадящих режимах с прогнозированием при минимальных затратах энергии, а также с минимальной потерей полезных веществ [198-199].

Повышение качества продукции возможно осуществить за счет проектирования режимов и прогнозирования эффекта от тепловой обработки.

Создание профильного биотехнологического акселератора и биотехнопарка возможно в Учебно-экспериментальном цехе Мурманского государственного технического университета. Имеющаяся инфраструктура позволяет создать «Рыбофабрику будущего» и масштабировать создаваемые технологии на предприятиях рыбоперерабатывающей промышленности. Такой подход позволит обеспечить рыбную промышленность кадрами с мультидисциплинарными знаниями в IT, логистике и биотехнологии. Биотехнопарк МГТУ позволит тестировать на учебно-экспериментальных установках отечественные энергосберегающие технологии в области автоматизации и роботизации пищевых производств. «Рыбофабрика будущего» позволит создать базу цифровых двойников продуктов с применением рыбного сырья, цифровых двойников процессов, а также сформулировать критерии и алгоритмы в области определения микронутрентного статуса потребителя.

1.2 Анализ стратегии развития рыбной промышленности России

Стратегией развития рыбной промышленности России определены целевые индикаторы, в частности, количество внедренных технологий в производство товарной пищевой рыбной продукции, что подтверждает важность исследований в области создания и модернизации технологических процессов. Акцент в стратегии поставлен на рост производительности труда; повышение

доли продукции с высокой степенью переработки; повышение доли продукции из водных биоресурсов высокой степени переработки российского производства на мировом рынке [26, 177].

В Стратегии оценка состояния рыбохозяйственного комплекса России оценивается как негативная из-за слабого роста за счет наращивания вылова при неизменной структуре производства и глубине переработки; снижающейся эффективностью производства; дезинтегрированной структурой – слабые вертикальная интеграция и экономические эффекты в смежных отраслях [26, 177].

По добыче отдельных видов водных биологических ресурсов Россия занимает лидирующие позиции (31 % от мирового вылова тресковых, лососевых – 10 % мирового вылова) [26, 177].

Важно отметить, что с точки зрения производительности труда рыбохозяйственный комплекс России заметно уступает основным конкурентам ввиду низкой технической вооруженности судов и фабрик [26, 177].

Особое внимание в Стратегии уделено эффективности рыбохозяйственной науки как одного из факторов развития рыбной индустрии. Отмечено, что Российская рыбохозяйственная наука требует докапитализации в объеме от 3 до 6 млрд рублей в год [26, 177].

Опережающий рост отрасли, согласно Стратегии возможен через инвестиции, направленные на строительство ряда высокотехнологичных береговых заводов по выпуску филе тресковых рыб и продукции на основе филе в том числе и Северо-Западном Федеральном округе. Особое внимание уделяется работе производственных объектов по полной переработке отходов [26, 177].

Стратегия предполагает включение большего количества этапов создания стоимости продукции: добыча и сохранение водных биологических ресурсов; переработка водных биологических ресурсов (производство пищевой и непищевой продукции) [26, 177].

Отмечен в Стратегии потенциал отложенного спроса поставок пелагических рыб на рынок Российской Федерации, который будет востребован на внутреннем рынке. К этим видам относятся в том числе скумбрия различных видов копчения, пресервы и консервы; консервы и пресервы сардины-иваси. Таким образом, консервная промышленность является одним из перспективных направлений развития отложенного спроса [26, 177].

Особое внимание в Стратегии приковано к исследованиям потребностей внутреннего рынка. В частности увеличению потребности продукции из тунца можно отнести набирающую популярность у молодой части населения и среднего класса в консервах и паштетах из тунца [26, 177].

Увеличение эффективности рыбоперерабатывающих мощностей может состояться при операционной эффективности и повышении глубины переработки водных биологических ресурсов, получении добавленной стоимости. Увеличение операционной эффективности предполагается за счет роста ряда показателей, в том числе энергоэффективности и сокращения ручного труда за счет автоматизации процессов [26, 177].

Цепочки создания стоимости продукции обеспечивают традиционную переработку на пищевые цели: добыча, далее переработка в консервы, пресервы и другие виды продукции [26, 177].

Арктический вектор развития рыбной промышленности отмечен в Стратегии. В частности, развитие центра комплексной переработки тресковых видов на базе Мурманского морского рыбного порта позволит увеличить грузооборот в 2 раза и довести его до 400 тыс. тонн в год. На Северном и Западном бассейнах прирост объемов перевалки рыбной продукции планируется до 500 тыс. тонн в год, из которых на Мурманск придется 200-220 тыс. тонн [26, 177].

Стратегическими направлениями совершенствования системы отраслевой науки являются: концентрация лучших научных и производственных ресурсов с целью повышения эффективности результатов НИР, разработка технологий переработки [26, 177].

Формирование Северного рыбопромышленного кластера является основой для повышения эффективности взаимодействия в рамках производственных цепочек, в которые входят предприятия по глубокой переработке уловов, производства рыбных кормов, заводы по разведению молоди и лососевые хозяйства. Среднегодовой рост вклада рыбохозяйственного комплекса СЗФО в ВРП к 2030 году может составить порядка 4 % [26, 177].

Достижение целевого индикатора Стратегией развития рыбной промышленности России «количество внедренных технологий в производство товарной пищевой рыбной продукции» возможен за счет роста производительности труда с применением автоматизации процессов; повышение глубины переработки и эффективности производства; интеграцией производств смежных отраслях.

Концепция «Рыбофабрика будущего» в отраслевых и смежных высших учебных заведениях позволит сконцентрировать научные и производственные ресурсы и повысить эффективность результатов НИР [63].

Совершенствование технологий переработки рыбной продукции с применением консервирования (копченой продукции, пресервов и консервов) является одним из перспективных направлений развития отложенного спроса.

«Рыбофабрика будущего» на базе МГТУ может быть неотъемлемой составляющей Северного рыбопромышленного кластера и также являться основой для повышения эффективности взаимодействия в рамках производственных цепочек, в которые входят предприятия по глубокой переработке уловов, производства рыбных кормов.

1.3 Анализ стратегии развития информационного общества в российской федерации на 2017 - 2030 годы

В рамках Стратегии отмечено, что информационные и коммуникационные технологии являются частью современных управленческих систем во всех отраслях экономики [179, 180].

В стратегии находит отражение актуальная проблема интенсификации

использования технологий. Технологии, созданные на основе передовых знаний (нано- и биотехнологии, оптические технологии, искусственный интеллект, альтернативные источники энергии) должны становиться доступными [179, 180].

Развитие технологий сбора и анализа данных, обмена ими, управления производственными процессами осуществляется на основе внедрения когнитивных технологий, их конвергенции с нано- и биотехнологиями. Значительное увеличение объема данных, источниками и средствами распространения которых являются промышленные и социальные объекты, различные электронные устройства, приводит к формированию новых технологий. Повсеместное применение таких технологий способствует развитию нового этапа экономики - цифровой экономики и образованию ее экосистемы [179, 180].

Обеспечение эффективности цифровой экономики связан с внедрением технологий обработки данных, что позволит уменьшить затраты при производстве товаров и оказании услуг [179, 180].

В Стратегии одним из требований устойчивого функционирования информационной инфраструктуры страны обозначена замена импортного оборудования, программного обеспечения и электронной компонентной базы российскими аналогами, обеспечение технологической и производственной независимости и информационной безопасности [179, 180].

Предоставление безопасных и технологически независимых программного обеспечения и сервисов Стратегия связывает: с созданием российского общесистемного и прикладного программного обеспечения, в том числе на основе обработки больших объемов данных, применения облачных технологий и интернета вещей с созданием встроенных средств защиты информации для применения в российских информационных и коммуникационных технологиях [179, 180].

Направлениями развития российских информационных и коммуникационных технологий являются: конвергенция сетей связи и создание сетей связи нового поколения; обработка больших объемов данных;

искусственный интеллект; технологии электронной идентификации и аутентификации; облачные и туманные вычисления; интернет вещей и промышленный интернет; робототехника и биотехнологии; радиотехника и электронная компонентная база; информационная безопасность [179, 180].

Ключевыми направлениями повышения конкурентоспособности российских информационных и коммуникационных технологий согласно Стратегии являются: развитие науки, техники, технологий; подготовка квалифицированных кадров в сфере информационных и коммуникационных технологий; внедрение отечественных информационных технологий [179, 180].

Создание российских информационных и коммуникационных технологий согласно Стратегии сопряжено с: обеспечением актуальности научно-исследовательских приоритетов и последовательном развитии прикладных решений на основании передовых фундаментальных научных исследований; расширением возможности многостороннего и двустороннего научно-технического сотрудничества в сфере информационных и коммуникационных технологий, укреплением исследовательского потенциала и информационного обмена между государствами; осуществлением стимулирования фундаментальных и прикладных научных исследований в сфере информационных и коммуникационных технологий, выполняемых научно-исследовательскими организациями, разработкой инновационного высокотехнологичного оборудования; разработкой и продвижением российских подходов и стандартов, позволяющих обеспечить конкурентоспособность приоритетных отечественных технологий, подходов и стандартов на международном уровне [179, 180].

Одной из основных задач применения информационных технологий в сфере взаимодействия государства и бизнеса, формирования новой технологической основы в экономике согласно Стратегии является разработка мер, направленных на внедрение в российских организациях, в том числе в организациях жилищно-коммунального хозяйства и сельскохозяйственных организациях, российских информационных технологий, включая технологии

обработки больших объемов данных, облачных вычислений, интернета вещей [179, 180].

В процессе реализации национальных интересов в области цифровой экономики согласно Стратегии необходимо развивать центры обработки данных, технические средства по обработке данных на территории Российской Федерации на основе российского программного обеспечения и оборудования [179, 180].

Развитие технологий сбора и анализа данных, обмена ими, управления производственными процессами в пищевой промышленности может осуществляться на основе внедрения когнитивных технологий, их конвергенции с нано- и биотехнологиями [179, 180].

Устойчивое функционирования информационной инфраструктуры рыбной промышленности связано с заменой импортного оборудования [58, 86] программного обеспечения и электронной компонентной базы российскими аналогами. Такой подход позволит обеспечить технологическую и производственную независимость и информационную безопасность. Направлениями развития информационных и коммуникационных технологий в рыбной промышленности могут стать: обработка больших объемов данных; искусственный интеллект; робототехника и биотехнологии.

Концепция «Рыбофабрика будущего» на базе Мурманского государственного технического университета может послужить развитию науки, техники, доступности технологий, созданных на основе передовых знаний; обеспечить подготовку квалифицированных кадров в сфере информационных и коммуникационных технологий и внедрение отечественных информационных технологий. Одним из ключевых элементов «Рыбофабрики будущего» может стать центр обработки данных на основе российского программного обеспечения и оборудования. Создание такого центра позволит обеспечить применение цифровых производственных технологий как в университете, так и на береговых рыбоперерабатывающих предприятиях Мурманска.

1.4 Анализ процесса регулирования температуры при традиционном способе стерилизации консервов

Регулирование температуры процесса стерилизации консервов, традиционно происходит в соответствии со схемой, представленной на рисунке 1.1.

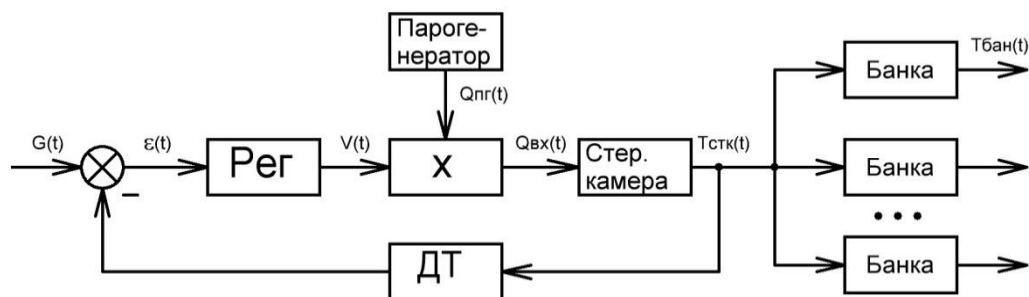


Рисунок 1.1 – Регулирование температуры при традиционном подходе к процессу стерилизации консервов

Температура теплоносителя в автоклаве устанавливается для системы автоматического управления [19, 27, 55, 85] в качестве задающего воздействия. Регулируемым параметром в схеме является температура в аппарате, измеряемая штатным датчиком.

Используемые в промышленности системы автоматического управления не позволяют осуществлять управление по F-эффекту (L_T^Z , фактической летальности, фактическому стерилизующему эффекту). Исследования по созданию такого способа управления проводились до 2001 года научно-исследовательскими организациями пищевой индустрии Санкт-Петербурга [173]. Результат исследований – набор требований к системе автоматического управления процессом. В системе F-эффект должен адекватно быть математически описан полиномом, а длительность этапов процесса определяется из базы данных для каждого продукта и автоклава. Недостатком такого способа авторы исследования посчитали трудоемкость подбора адекватного полинома [173].

Для определения фактической летальности режима стерилизации требуется временная зависимость температуры продукта. Таким образом,

возникает задача измерения температуры внутри консервной банки, располагающейся в стерилизационной камере автоклава. Для регистрации температурных кривых в жестких условиях промышленных стерилизационных аппаратов (повышенные температуры и давление, почти 100% влажность) предназначены программно-аппаратные комплексы, например, СКЭС, Ellab, Termochron.

1.5 Анализ исследований в области совершенствования процесса стерилизации консервов

Анализ режимов стерилизации свидетельствует о том, значение нормативного стерилизующего эффекта (F_T^Z , нормативная летальность) превышает F-эффектом более чем на 20%, при требуемом значении в 10% [15, 51, 65, 134, 182]. Важной исследовательской задачей становится нахождение таких режимов тепловой обработки в автоклаве, которые бы одновременно обеспечивали достижение требуемой степени инактивации микроорганизмов - по показателю "нормативный эффект стерилизации (микробиологическая летальность)", сохранение лабильных биологически-активных веществ продукта, минимизация затрат энергии и длительности технологического процесса [177-178, 207, 217, 228]. Для рыбной промышленности РФ создание щадящих режимов стерилизации и пастеризации [37-38, 40-41] консервов является актуальной задачей. В настоящее время производители консервной продукции используют современную стерилизационную технику [4, 58, 86, 169] и упаковку, что требует создания соответствующих режимов стерилизации [172]. Однако, процесс разработки и обоснования новых режимов трудоемок, требует значительных энергетических, временных и, как следствие, материальных затрат. Поэтому создание методики для оптимизации данного процесса весьма актуально [10, 16, 64, 90-92, 174-175, 229, 231, 236-237, 241-242].

Под традиционным режимом тепловой обработки консервов в водной среде (рисунок 1.2) понимают совокупность продолжительностей этапов

термообработки, значений температуры среды и давления в автоклаве и нормативной летальности процесса [55], которые записаны в следующем виде:

$$T_f \frac{\tau_p - \tau_s - \tau_c}{T_{hm}} p_s, F_n \quad (1)$$

где τ_f – температура продукта, °С;

τ_p – продолжительность увеличения температуры среды до температуры стерилизации, мин;

τ_s – продолжительность этапа стерилизации, мин;

τ_c – время уменьшения температуры аппарата до (40 ± 2) °С, мин;

T_{hm} – температура греющей среды при тепловой обработке на этапе стерилизации, °С;

p_s – давление в аппарате во время тепловой обработки, кПа;

F_n – нормативная эффект процесса стерилизации, усл. минуты.

В настоящее время большинство производственных предприятий применяют традиционные режимы [85], у которых температура является постоянной величиной на протяжении этапа собственно термообработки (стерилизации или пастеризации). Однако, существует способ, основанный на проведении процесса тепловой обработки продуктов при переменной (изменяемой во времени) температуре среды автоклава, который называют переменным режимом [245]. Такой подход не получил широкого применения инженерами-технологами из-за ряда ограничений:

- отсутствия решений в области технических средств автоматизации способных реализовать переменный режим;
- отсутствия достаточного научного обоснования режимов, полученных без непосредственного использования технологического оборудования;
- отсутствия проработанной методологии разработки переменных режимов в сжатые сроки на производственном предприятии.

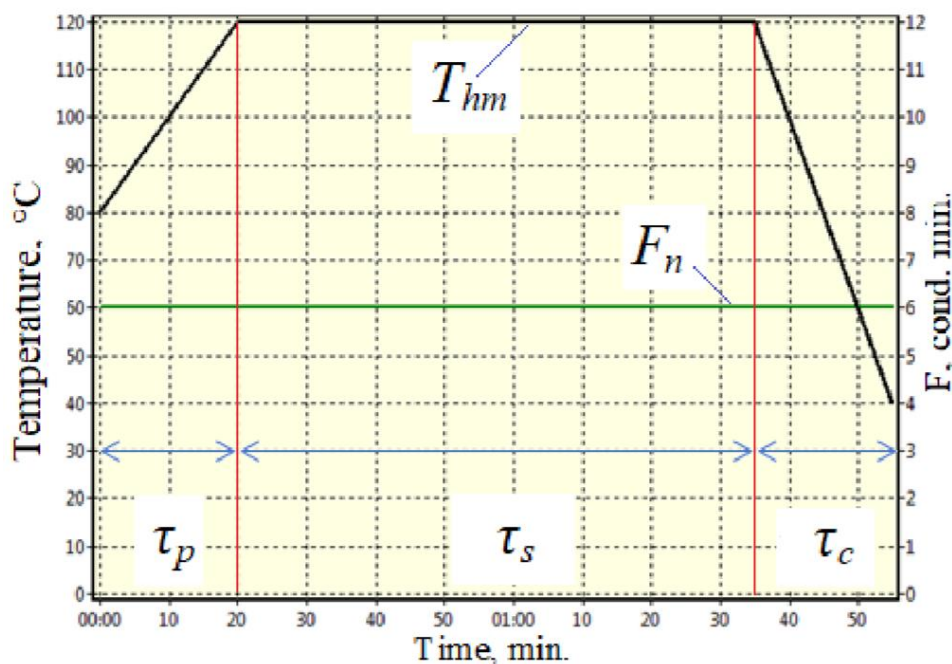


Рисунок 1.2 – Традиционный режим тепловой обработки консервов в водной среде.

Многие ученые в своих исследованиях уделяют большое внимание переменному режиму тепловой обработки (ВРТО) как перспективному способу, который обладает огромным потенциалом. Тепловая обработка при переменной температуре среды в стерилизационной камере автоклава может обеспечить повышение качества готового продукта и достижение эффективности процесса в целом за счет улучшения равномерности нагрева продукта в герметично закрытой таре и сокращения энергетических затрат на производство [195, 209, 247]. Суть ВРТО заключается в изменении температуры этапа собственно термообработки, согласно некоторой временной зависимости $f(t)$. В общем случае переменными являются температуры автоклава в различные моменты времени. Обычно ВРТО представляют в виде совокупности четырех значений и функций:

$$\langle x_1, x_2, f(t), x_3 \rangle \quad (2)$$

где x_1 – время повышения температуры в автоклаве до некоторой начальной температуры процесса тепловой обработки;

x_2 – продолжительность собственно процесса тепловой обработки;

$f(t)$ – функция, выражающая зависимость температуры тепловой обработки от времени;

x_3 – время снижения температуры от конечной температуры процесса тепловой обработки до некоторой заданной температуры [190].

Для процессов стерилизации консервов ВРТО можно определить как процесс (рисунок 1.3), который включает: время нагрева автоклава; период собственно процесса термообработки, когда температура стерилизационной камеры автоклава изменяется во времени; время охлаждения автоклава [247].

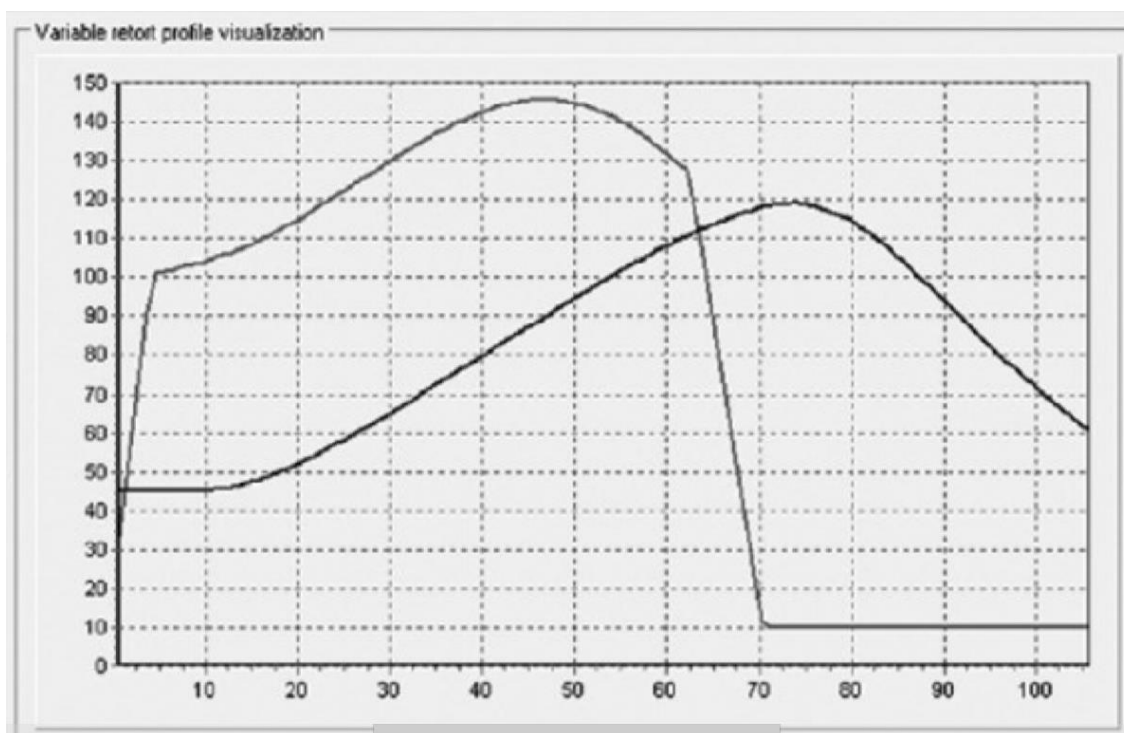


Рисунок 1.3 – Профиль переменного режима тепловой обработки [191].

В качестве альтернативы традиционным режимам тепловой обработки (ТРТО) ВРТО впервые предложены в работах исследователей тепловых процессов в период 1960 – 1990 годы. Первые исследователи ВРТО сконцентрировались на изучении вопроса сохранения среднего содержания нутриентов. Полученные результаты показали, улучшение сохранения среднего качества продукта [202, 210], при этом оптимальные ВРТО оказались уникальны для каждой комбинации геометрических размеров консервной тары, продукта и выбранного параметра

качества. С 1990-х годов исследователи тепловых процессов (Альмонасид, Норонья, Банга, Дюранс, Сильва и др.) получили новые преимущества применения ВРТО в области снижения энергозатрат, продолжительности процесса и теплового воздействия на поверхность продукта [192, 196, 224-225, 230, 232]. Но ни в одном из этих исследований не описывалось применение этих режимов в реальных автоклавах. Дюранс был тем исследователем, кто проверил выбранный ВРТО на реальном автоклаве. В статье [210] он описывает получение оптимального ВРТО для консервированного лосося в жестяной консервной банке 82×45 мм с использованием компьютерной модели и подтверждает его эффективность на реальном автоклаве. Было показано, что ВРТО позволяют производить продукты с качеством, эквивалентным значению фактического летального эффекта (F-эффекта), полученному для ТРТО. Тем самым, как считает исследователь, открыта возможность разработки и использования ВРТО на коммерческих предприятиях. К началу XXI века, исследователям ВРТО необходимо решить задачу многофакторной оптимизации – обосновать применение оптимального температурного профиля для каждой комбинации пищевого продукта и консервной тары. Нахождение необходимой зависимости температуры от времени обычными методами оптимизации является задачей требующей значительного времени. Авторами статей [201-203] было обнаружено, что эффективное компьютерное моделирование с использованием технологий искусственного интеллекта [212-213, 216, 220, 227], таких как нейронные сети и генетические алгоритмы, обладает преимуществом перед традиционными методами оптимизации. Развитие компьютерного моделирования термических процессов обработки пищевых продуктов и методов оптимизации предопределило новый виток развития исследований в области ВРТО [234]. В 2013 году исследователем Абакаровым создана программа «OPT-PROx» [191, 218], которая позволяет оптимизировать термическую обработку путем создания профилей ВРТО для следующих целевых функций: минимизация общего времени обработки, увеличение до максимума поверхностного качества продукта и сохранения среднеобъемного

содержания тиамин и др. Исследование 2015 года показано, что применение ВРТО позволяет получить высококачественный энергосберегающий режим при обеспечении значения нормативного эффекта [116]. Однако, для реализации таких режимов на большинстве современных систем автоматического управления (САУ) промышленными автоклавами нет нормального описания (представления) ВРТО для функционирования САУ, а также регулятора для отработки полученных профилей температуры. На настоящий момент применение ВРТО на промышленных предприятиях по-прежнему не востребовано. В 2020 году в статье [235] группа авторов оценила эффективность внедрения процессов ВРТО на производстве. ВРТО были проанализированы с точки зрения гарантированной безопасности продукта (сохранения значения F-эффекта) и оптимизации процесса тепловой обработки (обеспечение критического уровня качества или максимальное повышение качества готового продукта при контроле продолжительности процесса и потребления энергии). Количественная оценка процессов была выполнена на основе параметров модельного завода по переработке сырья. В качестве переменных были выбраны форма и размер тары, свойства теплопередачи пищевых продуктов и параметры, определяющие факторы качества. Необходимое значение F-эффекта было установлено с учетом того, что в качестве целевого микроорганизма были взяты споры *Clostridium botulinum* (базисная температура равна 121,1 °C и константа термоустойчивости равная 10 °C). Анализ работ исследователей ВРТО позволяет прийти к следующим выводам:

- ранее опубликованные статьи были сосредоточены на оптимизации качества продукта, а не на сокращении времени процесса, и, следовательно, потреблении энергии и планировании рабочего времени завода;
- за счет внедрения ВРТО высвобождается около 20% рабочего времени завода в год с ожидаемым снижением энергопотребления на 9%;
- не было значительного повышения качества при использовании ВРТО по сравнению с применяемыми ТРТО;
- применение ВРТО рентабельно на реальном заводе.

Как видно, проблема внедрения переменных режимов на заводах и, в частности, на производственных автоклавах остается актуальной до сих пор. Нахождение математического описания переменного режима тепловой обработки консервов позволит реализовать такой способ автоматического управления автоклавом на производстве.

Режимы стерилизации консервов утверждаются в установленном на территории Российской Федерации порядке, при условии, что уровень фактической летальности превышает F_T^Z , при этом показатели качества остаются на достаточно высоком уровне в течение всего срока годности продукции [110]. Значение F-эффекта рассчитывается с использованием временной зависимости температуры продукта в центре герметически закупоренной консервной тары и позволяет оценить степень пригодности консервов к употреблению и длительному хранению. Для определения фактической летальности термического процесса используют величину z - константу термоустойчивости тестовой культуры микроорганизмов, полученную экспериментально. За единицу F-эффекта принято такое действие, оказываемое на тестмикроорганизм условным процессом стерилизации или пастеризации, при котором воздействие базисной температуры (T_0) продолжается в течение одной минуты. Величина фактического летального эффекта зависит от значения характеристики термостойкости (z) того микроорганизма, по отношению к которому рассчитывают эффект термообработки.

Традиционно фактический эффект стерилизации консервов определяется экспериментально путем измерения температуры продукта в центре банки в течение стерилизации с последующим расчетом величины фактической летальности с использованием коэффициентов летальности, приведенных в справочной литературе рассчитанных при следующих параметрах: для процесса пастеризации базисная температура (T_0) принимается равной 80 °С, а значение (z) – 8 или 15. Расчет выполняется для температур диапазоне от 60 °С до 105 °С; для процесса стерилизации: базисная температура (T_0) принимается равной 121,1 °С, а значение (z) – в диапазоне от 7 до 14. Расчет выполняется для температур в

диапазоне от 96 °С до 130 °С. Однако, с целью разработки новых или коррекции существующих режимов стерилизации и пастеризации различных видов консервной продукции возникает потребность варьировать параметры (T_0) и (z) для расчета F-эффекта процесса тепловой обработки.

Фактическое значение летальности процесса тепловой обработки (F-эффект) рассчитывается по формуле:

$$F = l_{T_1^0}^Z \cdot \tau_{T_1^0} + l_{T_2^0}^Z \cdot \tau_{T_2^0} + \dots + l_{T_n^0}^Z \cdot \tau_{T_n^0} \quad (3)$$

где l_T^Z – коэффициенты пересчета для базисной температуры; τ_{T_0} – длительность воздействия температуры T_0 .

Коэффициенты пересчета вычисляют в соответствии с выражением:

$$l_{T_0}^Z = 10^{\frac{T_{\text{пр}} - T_0}{z}}, \quad (4)$$

где T_0 – базисная температура, °С; $T_{\text{пр}}$ – температура в таре с продуктом, °С; z – коэффициент, определяющий термостойкость тест-культуры.

В общем случае, разработка режимов стерилизации консервов очень трудоемка [192]. На этапе лабораторного испытания проводят проверку: ориентировочного режима стерилизации продукта, подобранного на предыдущей стадии, путем инокуляции в продукт культуры термоустойчивого микроорганизма с последующей проверкой отсутствия тест-микроорганизма в консервах; условия превышения фактической летальности над нормативной; условия промышленной стерильности; нормативных физико-химических и органолептических показателей.

При выполнении данных условий текущий режим стерилизации консервов рекомендуется для производственной проверки. На этапе производственной проверки производят выработку опытной партии консервов в объеме не менее 1000 физических банок. После этого данную партию подвергают контролю, фиксируя дефекты в акте выработки опытной партии и закладывают ее на хранение в течение не менее 90 суток в соответствии с условиями нормативной документации. По окончании хранения пробную партию проверяют аналогично этапу лабораторного испытания. При выполнении необходимых условий

промышленной стерильности и летальности происходят процедуры оформления, согласования и утверждения режима стерилизации, только после этого разработанный режим передается для дальнейшего производственного использования.

Самым продолжительным и затратным этапом разработки режима стерилизации является его предварительный подбор [176]. От выбора предварительного режима стерилизации консервов зависит продолжительность дальнейших стадий процесса разработки режима стерилизации. Сокращение затрат на этапе предварительного подбора, позволит сэкономить достаточное количество времени и средств разработчика режимов стерилизации консервов на пищевом производстве. Использование адекватных моделей уменьшит число пробных варок и временные, материальные и энергетические затраты на их проведение, а также создать оптимальный температурно-временной режим тепловой обработки, обеспечивающий достижение требуемой летальности.

Аналитический вывод математических моделей процессов в стерилизационной камере автоклава и банке с продуктом затруднен ввиду большого количества факторов, влияющих на процесс. Получение численной математической модели процесса стерилизации [60, 77, 80, 116] консервов в виде передаточных функций значительно упрощает вывод математического описания. Такой подход позволяет построить корректную и адекватную модель, отражающую основные характеристики динамики процесса [19].

Поиск моделей процессов стерилизации консервов привлекал многих ученых и исследователей конца XX века. Наиболее известным исследователем в этой области является Джулио Р. Банга, предложивший методики совершенствования пищевой обработки с использованием современных методов оптимизации [196]. Им предложены методы и модели, используемые в пищевой промышленности, также рассмотрены особенности внедрения повсеместной оптимизации и моделирования процессов. Более полное рассмотрение методов по оптимизации процессов тепловой обработки, представлено в книге Ф. Эрдогду «Optimization in Food Engineering» (2008).

Программное обеспечение для оптимизации режимов тепловой обработки

Современным решением проблемы подбора оптимальных параметров режима тепловой обработки является применение современных методов описания технологического процесса стерилизации [111, 127, 132]. Примерами реализации таких методов на практике являются программа «OPTO-PROx» и программный комплекс, состоящий из программ «Thermal processing modeller» и PRSC.

Особое внимание уделяют поиску оптимального температурно-временного режима тепловой обработки сырья и в России. Программный комплекс, разработанный и модернизируемый на кафедре АиВТ МГТУ, состоит из двух программ: «Thermal processing modeller» (рисунок 1.4) и PRSC («Подбор параметров режима стерилизации»). Комплекс позволяет оптимизировать рабочее время разработчика при создании нового или коррекции существующего режима.

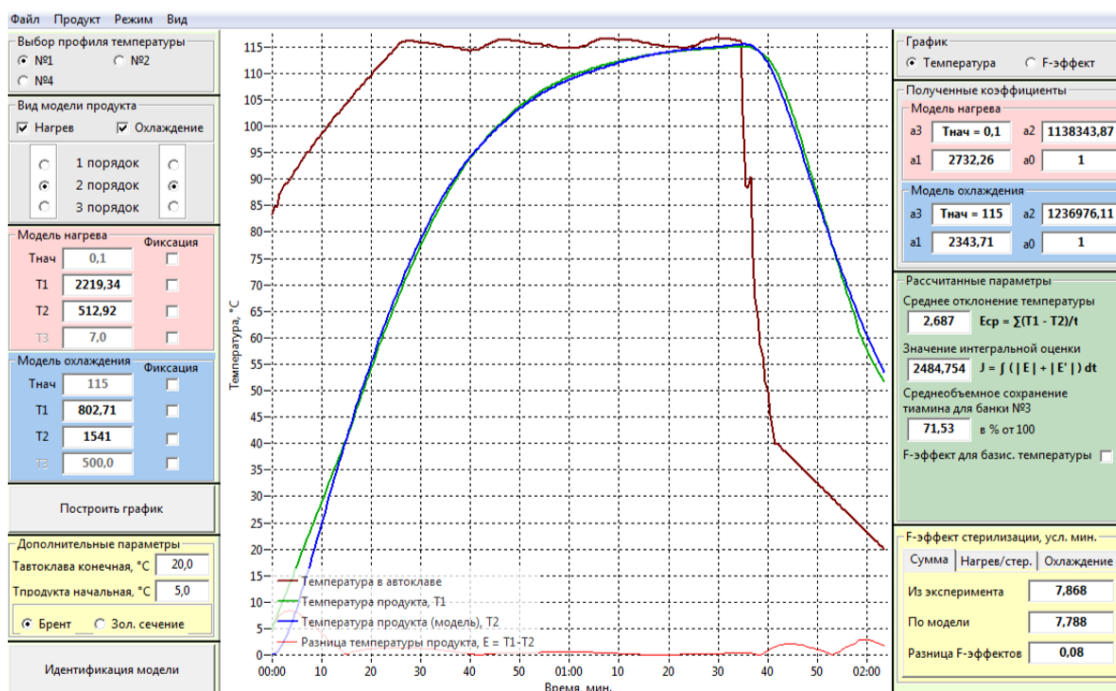


Рисунок 1.4 – Внешний вид программы Thermal processing modeller

Применение программы «Thermal processing modeller» предоставляет исследователю в области поиска оптимальных технологических режимов возможности [149]:

- подбирать в автоматическом режиме численные модели (коэффициенты передаточной функции) температурного процесса до третьего порядка на всех этапах процесса;
- отображать профили температуры в автоклаве и продукте;
- строить температурные зависимости от времени аппарата по реальным экспериментальным данным от термодатчиков и численно моделируемым значениям, а также их разность ($E = T_{\text{реал.}} - T_{\text{модель}}$);
- выводить значения F-эффекта реального и вычисленного в пересчете на заданную базисную температуру в градусах Цельсия и значение устойчивости определенного микроорганизма к нагреву в банке с продуктом и их отличие для всего процесса и отдельных этапов стерилизации;
- вычислять интегральную оценку $J = \int (|E| + |E'|) dt$);
- вычислять процентное значение среднеобъемного сохранения тиамина для банки №3;

Для начала работы с программой «Thermal processing modeller» необходимо загрузить файл значений с логгеров температуры. Далее выбрать необходимый температурный профиль продукта, вид («Нагрев» и/или «Охлаждение») и порядок (первый, второй или третий) тепловой модели продукта. Затем необходимо выбрать кнопку «Идентификация модели» и сохранить полученную модель продукта и режим стерилизации для программы PRSC в файлы.

Дальнейшее математическое моделирование при предварительном подборе параметров режима стерилизации производится в программном продукте PRSC (рисунок 1.5).

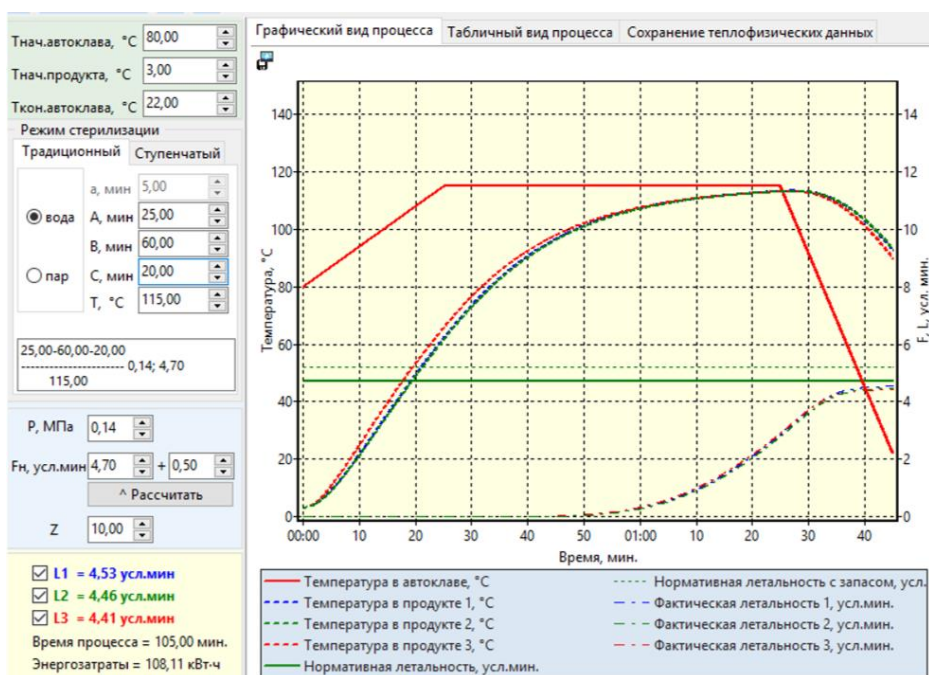


Рисунок 1.5 – Вид стартовой формы приложения PRSC

Для проведения моделирования необходимо ввести параметры модели продукта, параметры автоклава (рисунок 1.6) или режима стерилизации (традиционный или ступенчатый), условия моделирования в начале и конце процесса, выбор паровой или водной среды. Построение графика температуры в стерилизационной камере автоклава, а также значений температур в банках с наибольшей, средней и наименьшей прогреваемостью осуществляется автоматически.

The screenshot shows the 'Параметры модели продукта' and 'Параметры модели автоклава' sections. The 'Параметры модели продукта' section includes:

- Wmax(p) = $680000,0 \cdot p^2 + 1620,0 \cdot p + 1$
- Wcp(p) = $550000,0 \cdot p^2 + 1550,0 \cdot p + 1$
- Wmin(p) = $460000,0 \cdot p^2 + 1510,0 \cdot p + 1$

 The 'Параметры модели автоклава' section includes:

- Макс. нагрев, °C/мин: 20,00
- Макс. остыв. (пар), °C/мин: 2,00
- Макс. остыв. (вода), °C/мин: 1,00
- Макс. охлажд., °C/мин: 24,00
- Объем стер. камеры, л: 1500,0
- Кол-во корзин: 2
- Масса без корзин, кг: 1060,0
- Масса корзины, кг: 50,0
- Площадь поверхности, м²: 6,500
- Кол-во банок в корзине: 1125
- Объем банки, л: 0,250
- Толщина изоляции, м: 0,050
- Теплопроводность изоляции, Вт/(м*К): 0,110
- Линейное охлаждение:

Рисунок 1.6 – Внешний вид окон настройки моделей автоклава и продукта

Вычисление F-эффекта осуществляется для указанных областей автоклава. Подбор оптимальных по нормативному стерилизующему эффекту, температуре стерилизации и продолжительностям этапов стерилизации параметры режима стерилизации осуществляется в программе в автоматическом (с помощью метода адаптивного симплекса) или ручном режиме (с помощью изменения необходимых пользователю параметров) [205]. Также программный продукт PRSC позволяет выполнять следующие функции:

- вывод в графическом или табличном виде процесса с выбранной моделью продукта;
- отображение формулы традиционного режима стерилизации;
- численное моделирование тепловых процессов;
- создание файла с теплофизическими данными (документ в Microsoft Word) для утверждения режима на этапе предварительного подбора посредством задания необходимых параметров на вкладке «Сохранение теплофизических данных» (рисунок 1.7).

Графический вид процесса Табличный вид процесса Сохранение теплофизических данных

Наименование консервов: Печень трески по-мурмански

Номер банки: 38К Масса банки с продуктом, гр.: 190

Этапы стерилизации, мин.: 20,00 — 25,00 — 70,00 — 20,00

Автоклав: АВК-30М

Температура стерилизации продукта, °C: 115

Начальная температура продукта, °C: 2 — 5

Давление стерилизации, МПа: 0,14

Нормативный эффект, усл.мин.: 4,70

Исполнители	
Должность	ФИО
Зав. кафедрой ТПП И	
Зав. лабораторией к	

Опыт 1 Опыт 2 Опыт 3 Опыт 4 Опыт 5

Выбор модели продукта

W1(p) = $50000,0 \cdot p^2 + 1800,0 \cdot p + 1$ Добавить из файла

W2(p) = $50000,0 \cdot p^2 + 2000,0 \cdot p + 1$

W3(p) = $50000,0 \cdot p^2 + 2200,0 \cdot p + 1$

Профиль автоклава

По режиму для теплофизики

Из эксперимента Выбрать

Создать файл теплофизики

Рисунок 1.7 – Вкладка создания теплофизического файла *.doc

Исследования в области поиска и обоснования оптимальных режимов тепловой стерилизации чаще всего предполагают проведение численного моделирования тепловых процессов [222]. Исследователь Симпсон использовал критерии для оптимизации режима стерилизации по значению содержания тиамин. Результатом исследования стал режим с переменной температурой с максимальным значением тиамин в конечном продукте. Длительность этапов процесса уменьшилась на 7 мин и составила 91 мин, содержание тиамин увеличилось до 55 %. Полученный процесс тепловой обработки, предложенный Симпсоном показан на рисунке 1.8 [233].

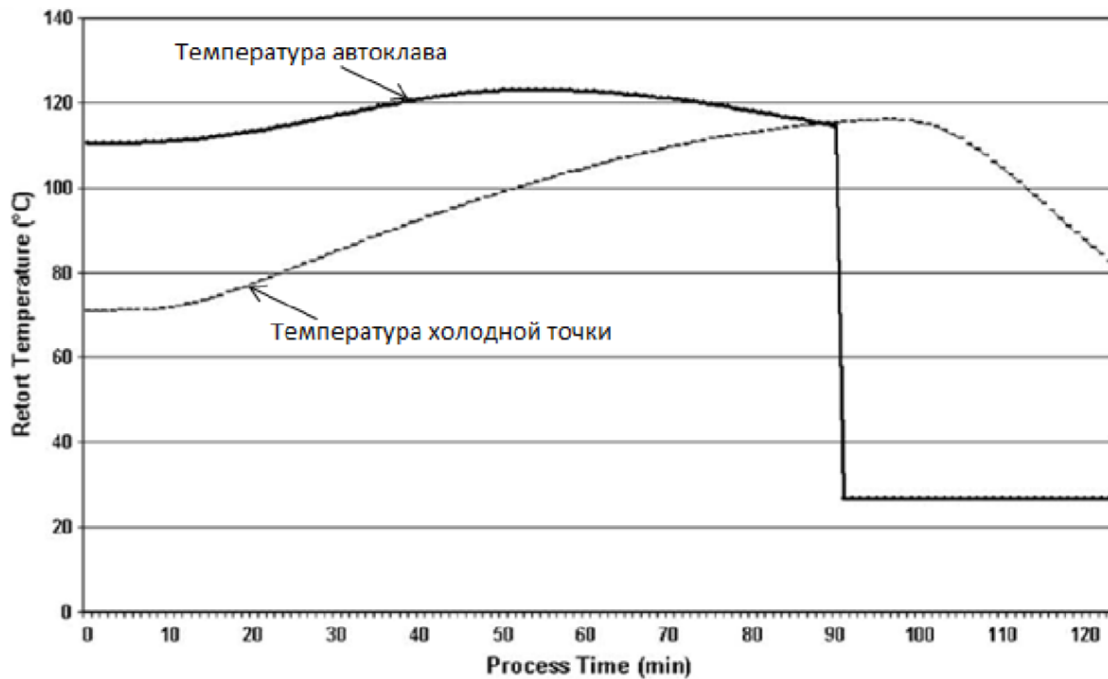


Рисунок 1.8 – Графики температуры при процессе стерилизации, оптимальном по содержанию тиамин [233]

Оптимизация по критерию минимального времени процесса стерилизации исследователем Симпсоном позволила получить режим с повышенной до 125 °C температурой в автоклаве (рисунок 1.9). Содержание тиамин при таком режиме сократилось на 50 % при уменьшении времени процесса стерилизации до 71 мин [233].

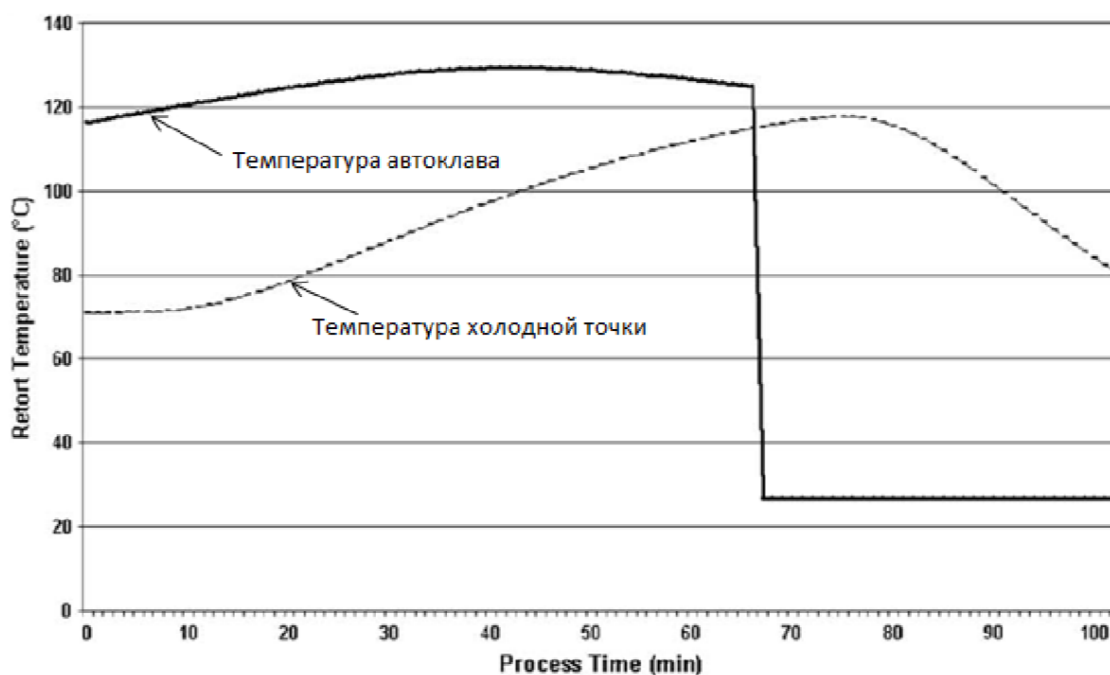


Рисунок 1.9 – Графики температуры при процессе стерилизации, оптимальном по времени [233]

Исследователь Абакаров в своих работах провел аналогичные исследования, однако, применил для оптимизации процесса другие алгоритмы в программе "OPT-PROx". Графики температур процессов стерилизации оптимальных по содержанию тиаминa и по минимальному времени процесса представлены на рисунках 1.10 и 1.11 [187-189].

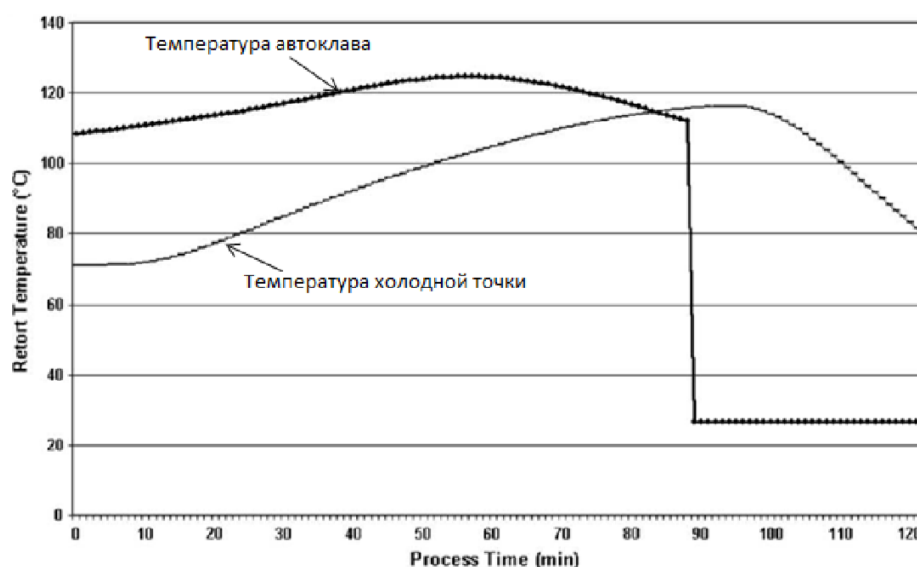


Рисунок 1.10 – Графики температуры при процессе стерилизации, оптимального по содержанию тиаминa [187-189]

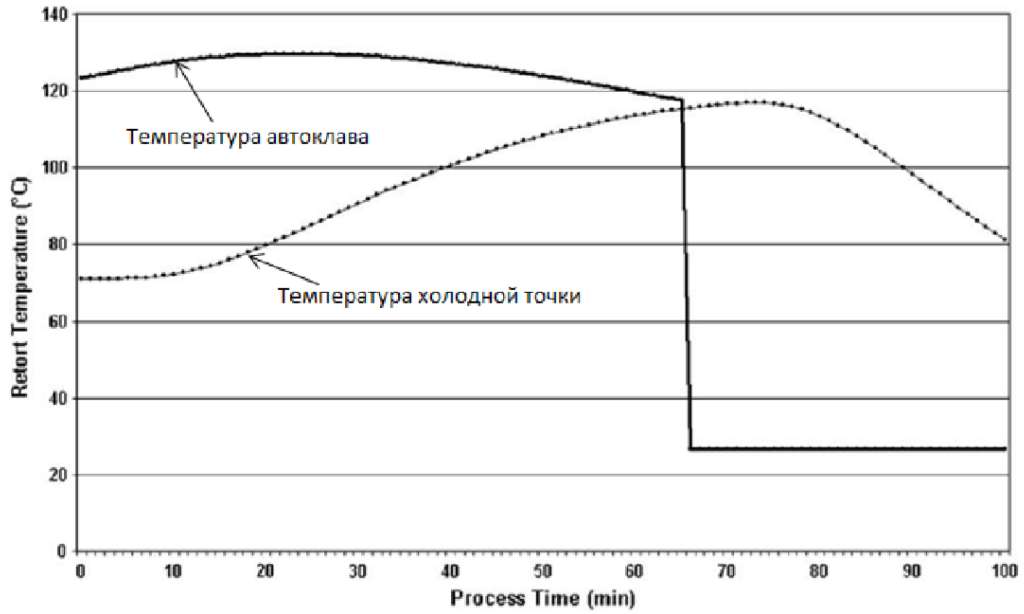


Рисунок 1.11 – Графики температуры при процессе стерилизации, оптимального по времени стерилизации консервов [187-189]

Исследования позволили сократить продолжительность процесса стерилизации до 62 мин, расчетное значение тиамин при этом выросло до 55 % (рисунок 1.12) [189].

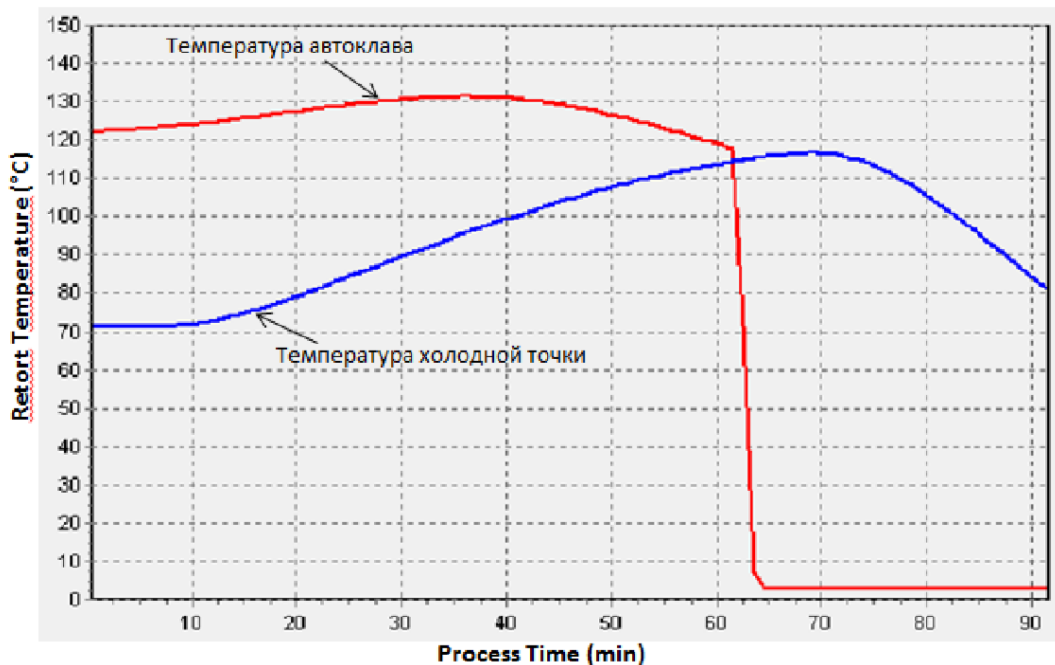


Рисунок 1.12 – Графики температуры при процессе стерилизации, оптимизированного в программном продукте "OPT-PROx" [189]

Результаты исследований по оптимизации режимов стерилизации сведены в таблице 1.

Таблица 1.1 – Результаты оптимизации параметров исходных режимов [116]

	Стерилизующий эффект, усл. мин	Время стерилизации, мин	Содержание тиамина, %	Количество итераций
Оптимизация по содержанию тиамина				
Исходные значения параметров	8	98	53	–
Оптимизация (Симпсон)	8	91	55	1 000
Оптимизация (Абакаров)	8	89	55	600
Оптимизация по времени стерилизации				
Исходные значения параметров	8	71	50	–
Оптимизация (Симпсон)	8	68	50	1 000
Оптимизация (Абакаров)	8	67	50,3	600
Оптимизация одновременно по содержанию тиамина и времени стерилизации				
Оптимизация с использованием "ОПТ-PROx" (Абакаров)	8	62	55	20 000

Анализ данных таблицы 1 показывает, что применение исследователем Абакаровым методов оптимизации в совокупности с использованием ВРТО в программном продукте "ОПТ-PROx" позволило получить повышение результатов исследований по получению оптимального режима стерилизации. Реализация предложенных процессов стерилизации по режимам, предложенным исследователями возможна с применением специально разработанной системы автоматического управления. Отсутствие таких систем является основным препятствием для реализации таких режимов в промышленном автоклаве [116].

1.6 Анализ исследований в области совершенствования систем управления процессами копчения и обезвоживания пищевых продуктов

Научно-исследовательская работа по разработке автоматизированных систем управления процессами копчения и обезвоживания пищевых продуктов является актуальной задачей в интересах развития рыбной промышленности Российской Федерации.

Решением проблемами, связанных с теорией и практикой технологического процесса копчения пищевых продуктов внесли 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 [1, 12, 100-103, 162].

Копчение рыбы – один из наиболее часто применяемых способов консервирования пищевых продуктов с улучшенными органолептическими характеристиками.

Влияние тепло- и массопереноса на динамические показатели технологического процесса усложняет применение систем управления с классическими регуляторами. Учет взаимовлияния различных сред при копчении возможен с применением современных систем автоматического управления, что позволит повысить эффективность технологического процесса.

Процесс копчения с точки зрения управления является распределенным в пространстве и нестационарным, что значительно затрудняет получение аналитического математического описания всех его составляющих.

Цикл работы коптильных камер состоит, как правило, из 3 этапов [12]:

- подсушка, при которой происходит уменьшение влажности поверхности рыбы до допустимых значений;
- копчение рыбы с насыщением коптильными компонентами. Интенсивность копчения повышается при температуре от 17 до 35 С и влажности дымовоздушной смеси и рыбы. Этап копчения занимает значительное время. Уменьшение длительности данного этапа связано с производительностью

копильной установки. Оптимизация параметров процесса копчения приводит к улучшению органолептических показателей готовой продукции;

- обезвоживание, сопровождающееся снижением влажности рыбы ниже 60% и отсутствии дымовоздушной смеси. Влажность среды на данном этапе принимает минимальные значения. Сокращение времени на данном этапе возможно осуществить при повышении жесткости процесса.

На сегодняшний день длительность этапов подсушки, копчения и обезвоживания формируется экспертами по результатам исследований в лаборатории без применения моделирования процессов [28]. Такой подход не позволяет учесть все влияющие на процесс факторы. Создаваемая система управления должна поддерживать оптимальные значения параметров процесса копчения в пределах этапа, что требует от системы возможности подстраиваться под состояние сырья и параметры процесса [12].

1.7 Критический анализ результатов обзора литературы

Данные обзора научно-технической и патентной литературы свидетельствует о том, что рыбохозяйственный комплекс играет ключевую роль в продовольственной безопасности страны.

Созданием цифровых платформ [117] для предприятиях пищевой промышленности занимаются отдельные компании, однако, применение отечественных аппаратных средств вычислительной техники и программных средств осуществляется на кафедре АиВТ МГТУ на протяжении 15 лет.

Развитие технологий, применяемых при тепловой обработке пищевых продуктов, позволяет обеспечить индивидуальное для потребителя содержание в пище питательных веществ повышение эффективности [12, 19, 22, 59, 89, 98, 162] и безопасности первичного производства продукции.

Применение интеллектуальных датчиков, систем сбора данных в совокупности с машинным обучением значительно ускоряет развитие технологий на объектах пищевой промышленности и расширяет возможности систем автоматического управления процессами.

Проведение процессов тепловой обработки в щадящих режимах с прогнозированием, позволяет повысить эффективность за счет минимальных энергозатрат, минимальной потери полезных веществ [29-31].

Повышение качества продукции возможно осуществить за счет проектирования режимов и прогнозирования эффекта от тепловой обработки.

Создание профильного биотехнологического акселератора и биотехнопарка возможно в Учебно-экспериментальном цехе МГТУ. Имеющаяся инфраструктура позволяет создать «Рыбофабрику будущего» и масштабировать создаваемые технологии на предприятия рыбоперерабатывающей промышленности. Такой подход позволит обеспечить рыбную промышленность кадрами с мультидисциплинарными знаниями в IT и биотехнологии. Биотехнопарк МГТУ позволит тестировать на учебно-экспериментальных установках отечественные энергосберегающие технологии в области автоматизации и роботизации пищевых производств. «Рыбофабрика будущего» позволит создать базу цифровых двойников продуктов с применением рыбного сырья, цифровых двойников процессов, а также создать критерии определения статуса потребителей. Концепция «Рыбофабрика будущего» в отраслевых и смежных высших учебных заведениях позволит сконцентрировать научные и производственные ресурсы и повысить эффективность результатов НИР. «Рыбофабрика будущего» МГТУ может быть неотъемлемой составляющей Северного рыбопромышленного кластера и также является основой для повышения эффективности взаимодействия в рамках производственных цепочек, в которые входят предприятия глубокой переработки уловов, производства рыбных кормов. Концепция «Рыбофабрика будущего» на базе МГТУ может послужить развитию науки, техники, доступности технологий, реализуемых на базе прорывных идей и знаний. Одним из ключевых элементов «Рыбофабрики будущего» может стать ЦОД (центр обработки данных) на базе российского ПО и оборудования. Создание такого центра позволит обеспечить применение цифровых производственных технологий как в университете, так и на береговых рыбоперерабатывающих предприятиях Мурманска.

Достижение целевого индикатора Стратегией развития рыбной промышленности России «количество внедренных технологий в производство товарной пищевой рыбной продукции» возможен за счет роста производительности труда с применением автоматизации процессов [55, 66]; повышение глубины переработки и эффективности производства; интеграцией производств смежных отраслей.

Совершенствование технологий переработки рыбной продукции с применением консервирования является одним из перспективных векторов развития отложенного спроса.

Устойчивое функционирование информационной инфраструктуры рыбной промышленности связано с использованием российских аналогов оборудования, что усилит информационную безопасность и устойчивость технологического и производственного направлений деятельности предприятий. Развитие информационных и коммуникационных технологий в рыбной промышленности может быть обеспечено применением сквозных производственных технологий.

Данные анализа литературы в области стерилизации консервов свидетельствуют о том, что вопросам, связанным с причинами завышения эффекта стерилизации уделяется недостаточное внимание. На сегодняшний день условно можно выделить 4 группы факторов, приводящих к применению жестких режимов.

Первая группа факторов – условия проведения процесса, которые влияют на величину F-эффекта [55, 88].

Вторая группа факторов – особенности подбора параметров режимов стерилизации консервов. Временные и температурные параметры режимов стерилизации при применении современных микропроцессорных технических средств автоматизации процесса можно установить с точностью до секунды (для временных) и до 0,1 °C (для температурных).

Третья группа факторов – применение температур стерилизации, характерных для данного продукта. Проведение всесторонних исследований по определению степени воздействия высоких температур на качественные

показатели продукции, а также изучение возможностей аппаратов для кратковременного применения таких температур позволит значительно расширить возможности по получению оптимальных режимов стерилизации.

Четвертая группа факторов – отсутствие адекватных моделей процесса стерилизации.

Влияние факторов возможно минимизировать с применением систем автоматического управления, способных прогнозировать значение фактического стерилизующего эффекта. Прогноз значений возможен с применением адекватных математических моделей процесса и осуществлении оптимального управления с целью минимизации фактического эффекта стерилизации при сохранении полезных веществ в продукте. Реализованных систем автоматического управления, осуществляющих прогнозирование значения фактического стерилизующего эффекта в научной литературе найти не удалось.

Совершенствование технологических аппаратов на консервных заводах требует использование оптимальных регуляторов и оптимальных программаторов. Исследования, направленные на получение оптимальных режимов тепловой обработки, проводятся и результаты показывают эффективность их внедрения в консервной промышленности.

Разработка режимов стерилизации консервной продукции является ответственным процессом, так как от них зависит здоровье потребителя. Для заданного вида продукции она заключается в многократном проведении пробных стерилизаций на лабораторном оборудовании с реальным продуктом до получения режима, гарантирующего требуемый уровень микробиологической безопасности и при котором достигаются соответствующие органолептические показатели качества. С целью снижения временных затрат при разработке режимов стерилизации часть пробных предварительных автоклавоварок может быть замещена результатами численного моделирования процесса по полученным для заданного аппарата и вида продукции моделям.

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 процесса.

Проведенный обзор литературы в области изучения процесса копчения пищевых продуктов позволяет сформулировать направления развития систем управления:

- управление влажностью дымовоздушной смеси является основным воздействием при работе;
- необходимо обеспечить стабилизацию параметров дымовоздушной смеси (температуры, концентрации и скорости движения);
- применение управления с прогнозированием процесса копчения позволит учитывать текущее состояние сырья и возмущения на объект;
- применение математического моделирования процессов обезвоживания и копчения позволит получить оптимальные параметры режимов по критериям затрат на процесс и продолжительности процесса.

1.8 Постановка цели 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 исследования методов тепловой обработки консервов и методик разработки режимов технологических процессов;
- провести разработку способа стерилизации консервов, в основе которого используется F-эффект, как регулируемый параметр САУ;
- провести разработку способа управления тепловой обработки 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 микропроцессорную САУ процессами тепловой обработки в автоклавах;
- провести разработку способа управления процессами обезвоживания и копчения, позволяющих прогнозировать эффект обезвоживания;
- провести модернизацию САУ коптильной установки;
- провести цифровое моделирование процессов обезвоживания и копчения;
- исследовать системы управления процессами тепловой обработки водных биоресурсов Арктики с использованием интеллектуальных технологий.

Выводы по 1 главе

Научно-исследовательская работа по разработке автоматизированных систем управления процессами тепловой обработки рыбных 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 автоматизации и цифровизации систем автоматического управления процессами позволяет решить основную часть проблем, связанных эффективностью оборудования и качества выпускаемой продукции.

ГЛАВА 2. Объекты, методы исследования и организация экспериментов

2.1 Программно-целевая модель исследований

Программно-целевая модель исследований представлена на рисунке 2.1.

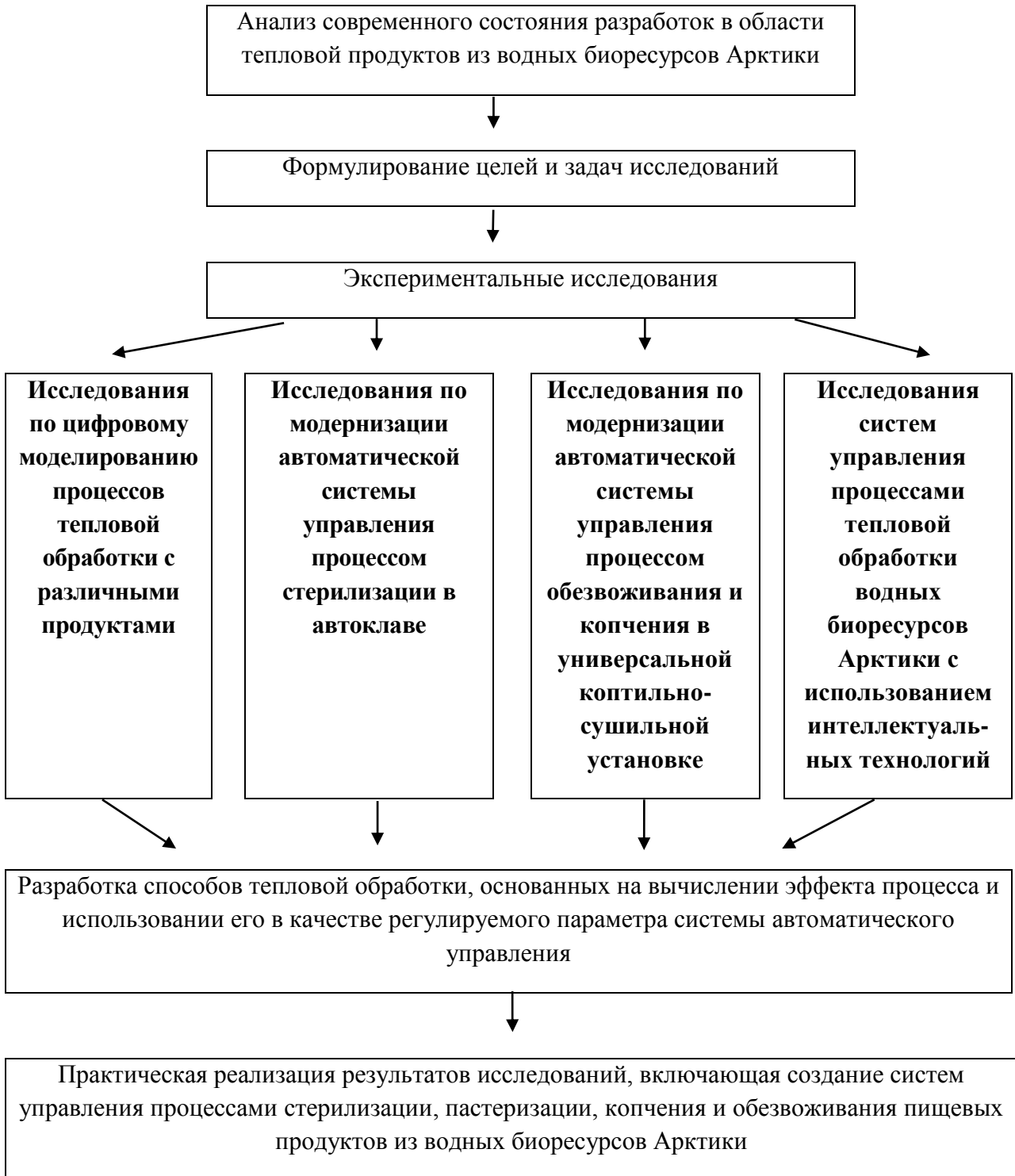


Рисунок 2.1 – Программно-целевая модель исследования

2.2 Объекты исследования

2.2.1 Описание технологического процесса производства консервов из печени трески

Производство стерилизованных консервов из печени трески включает в себя следующие рабочие маршруты:

- подготовка сырья;
- подготовка к стерилизации;
- стерилизация;
- завершение стерилизации;
- подготовка к хранению.

Используя описание технологического процесса производства консервов из печени трески, составим реестры рабочих мест, рабочих центров и технологических маршрутов. Реестры РМ, РЦ и ТМ представлены в таблицах 2.1-2.3.

Таблица 2.1 – Реестр РМ

Код	Наименование РМ
010	Участок подготовки сырья
015	Участок сортировки и фасовки
020	Участок стерилизации
025	Участок упаковки
030	Участок маркировки

Таблица 2.2 – Реестр РЦ

Код	Наименование РЦ
010	РЦ «Размораживание сырья»
015	РЦ «Подготовка к стерилизации сырья»
017	РЦ «Подготовка к стерилизации банок»
020	РЦ «Закатка банок»
022	РЦ «Стерилизация»

025	РЦ «Конвейер»
030	РЦ «Маркировка»
035	РЦ «Упаковка»

Таблица 2.3 – Реестр ТМ

Код	Наименование ТМ
010	ТМ «Подготовка сырья»
015	ТМ «Подготовка к стерилизации сырья»
020	ТМ «Подготовка к стерилизации банок»
025	ТМ «Закатка»
030	ТМ «Стерилизация»
035	ТМ «Мойка и сушка банок»
040	ТМ «Маркировка»
045	ТМ «Складирование»

Используя реестр технологических маршрутов и описания технологического процесса, составим реестр технологических операций для каждого ТМ. Реестр ТО представлены в таблицах 2.4-2.11.

Таблица 2.4 – Реестр ТО для ТМ «Подготовка сырья»

Код	Наименование ТО
010	Размораживание
015	Мойка
020	Сортирование
025	Зачистка

Таблица 2.5 – Реестр ТО для ТМ «Подготовка к стерилизации сырья»

Код	Наименование ТО
030	Подготовка печени по нормам закладки
035	Подготовка соли по нормам закладки

040	Подготовка специй по нормам закладки
045	Внесение соли и специй
050	Фасование
055	Контроль массы

Таблица 2.6 – Реестр ТО для ТМ «Подготовка к стерилизации банок»

Код	Наименование ТО
060	Мойка банок водой
065	Обработка банок острым паром

Таблица 2.7 – Реестр ТО для ТМ «Закатка»

Код	Наименование ТО
070	Подготовка крышек
075	Экспастирование и закатывание
080	Мойка

Таблица 2.8 – Реестр ТО для ТМ «Стерилизация»

Код	Наименование ТО
085	Подготовка основных технологических сред
090	Загрузка банок
095	Проведение процесса стерилизации
100	Выгрузка банок

Таблица 2.9 – Реестр ТО для ТМ «Мойка и сушка банок»

Код	Наименование ТО
110	Мойка банок
115	Сушка банок

Таблица 2.10 – Реестр ТО для ТМ «Маркировка»

Код	Наименование ТО
120	Этикетирование
125	Маркировка

Таблица 2.11 – Реестр ТО для ТМ «Подготовка к хранению»

Код	Наименование ТО
130	Упаковывание
135	Складирование

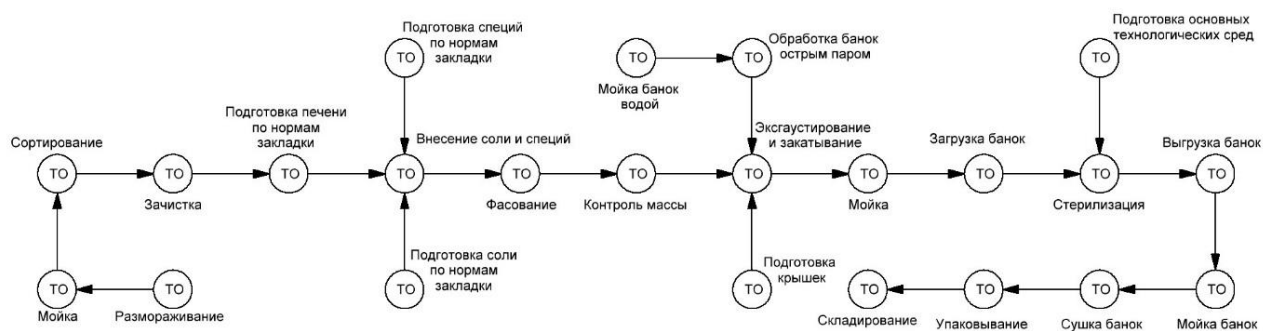


Рисунок 2.2 – Взаимосвязи ТО для всех ТМ производства консервов из печени трески

2.2.2 Стерилизационная установка АВК-30М

Исследования проводились в стерилизационной установке АВК-30М. Проведение процессов стерилизации в малогабаритной установке значительно уменьшает количество энергии, затраченной на процесс, а также сокращает необходимое количество сырья для одной автоклавоварки.

В составе установки АВК-30М интегрирован парогенератор (рисунок 2.3). АВК-30М – автоклав, полученный путем модернизации медицинского стерилизатора ВК-30 [55, 99, 130, 240].

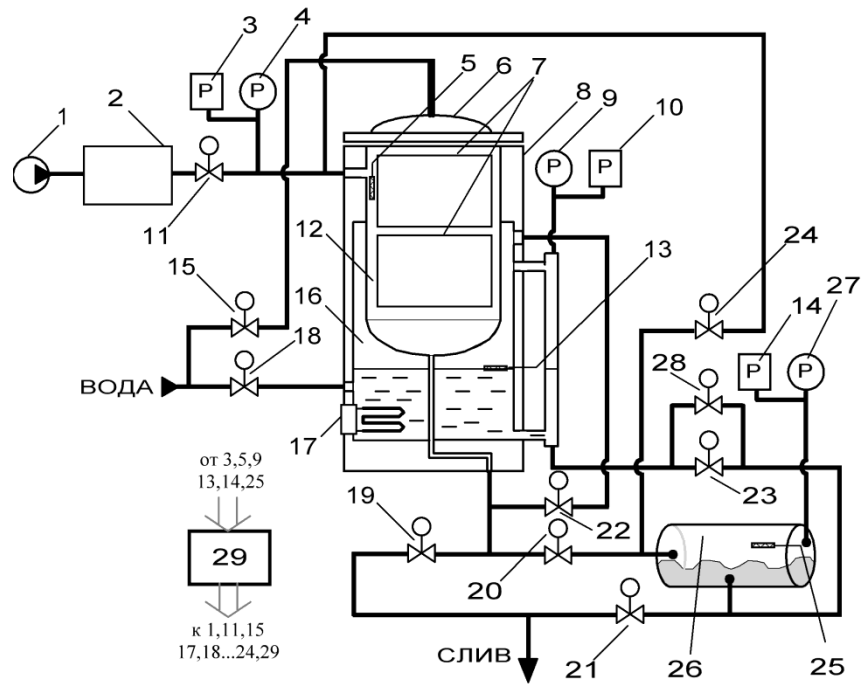


Рисунок 2.3 – Стерилизационная установка АВК-30М [166, 181]

Система управления содержит контур регулирования температурой греющей среды и контур регулирования давлением в стерилизационной камере.

2.2.4 Промышленный автоклав ASCAMAT-230

Объектом исследования является промышленный автоклав ASCAMAT-230 объемом 230 литров производства фирмы ASCA GmbH (Германия) (рисунок 2.4), с нагревом тремя трубчатыми электронагревателями, расположенными в донной и боковых частях аппарата [39, 185, 193, 240].

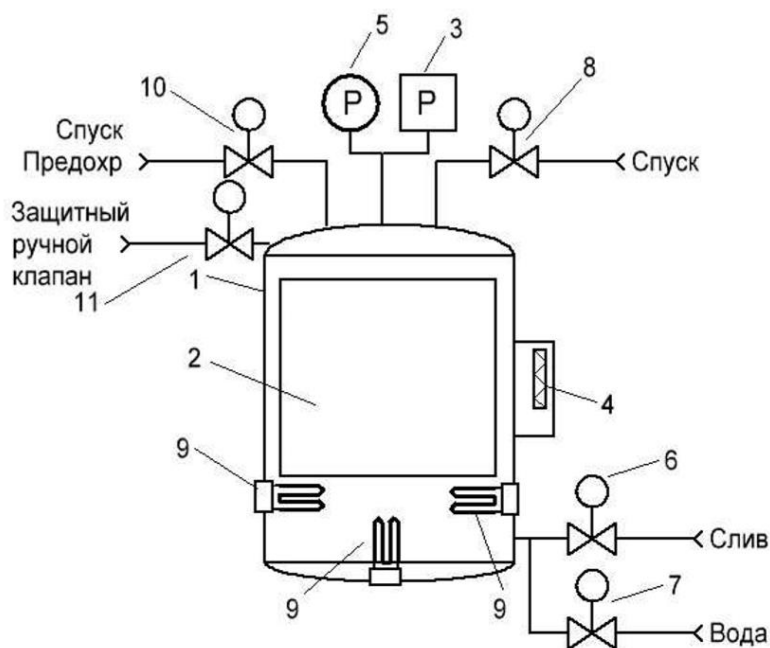


Рисунок 2.4 – Стерилизационная установка ASCAMAT-230 [185, 240]

2.2.5 Термографы

Популярными средствами регистрации температуры являются логгеры (термографы), которые позволяют записывать результаты измерений в электронное запоминающее устройство для долговременного хранения и последующей обработки. Однако, большинство терморегистраторов не обладают требуемым классом защиты, позволяющим работать в жидких средах, при высоких температурах и давлении, которые определяются режимом тепловой обработки продукта. В связи с вышеизложенным, можно сформулировать проблему выбора подходящего технического средства измерения и регистрации температуры для контроля качества и микробиологической безопасности готового продукта. На российском и зарубежном рынках подходящими устройствами являются термографы Thermochron iButton серии DS1922T научно-технической лаборатории "Электронные инструменты" и логгеры комплекса Ellab TrackSense PRO (рисунок 2.5). Основные характеристики логгеров представлены в таблице 2.12.

Таблица 2.12 – Основные характеристики логгеров температур [204]

Характеристика	Thermochron DS1922T (iBDL-T)	Ellab TrackSense PRO
Диапазон температур, °C	от 0 до +125	от -30 до +150
Точность, °C	0,5 (восьмиразрядные данные) или 0,0625 (16-ти разрядные данные)	±0,05
Погрешность, °C	от 20 до 75 °C: не более ±0,5 от 75 до 125 °C: не более ±2,0	±0,05
Погрешность встроенных часов, мин/месяц	±2,0	±2,5
Время работы от батареи	до 9 лет (температура до +50 °C, восьмиразрядные данные, период измерений более 5 минут);	до 12 месяцев (при температуре +121 °C, период измерений 15 секунд)
Степень защиты	IP56	IP68
Рабочее давление, бар	–	до 10 бар
Размеры логгера, мм	диаметр – 17,3 толщина – 5,9	диаметр – 25 высота – 45
Вес логгера, г	3,3	48
Емкость памяти	8192 измерений	60000 записей
Программное обеспечение	iBDL_R	ValSuite
Интерфейсы связи	1-Wire (логгер – комплекс iBDL), USB (комплекс iBDL – компьютер)	радиочастотный канал (логгер – считывающая станция), USB (считывающая станция – компьютер)
Дополнительное оборудование	капсула Thermochron protector (давление до 10 атм) измерительный комплекс iBDL, iButton-капсула DS9107 из PPS пластика	Главная считывающая станция – TrackSense PRO



Рисунок 2.5 – Внешний вид термографа ThermoChron iButton DS1922T и логгера комплекса Ellab TrackSense PRO (Дания) [204].

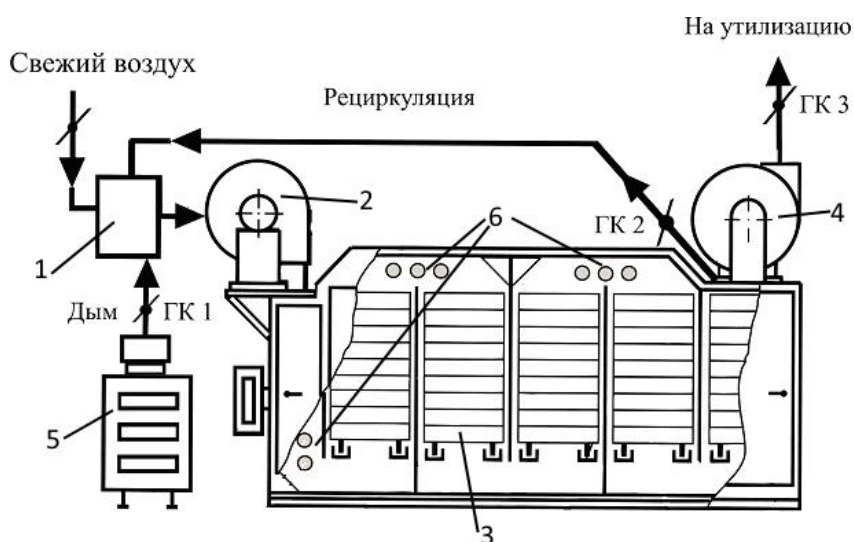
2.2.4 Универсальная копильно-сушильная установка (УКСУ)

УКСУ – установка расположенная в помещении учебно-экспериментального цеха (УЭЦ) МГТУ и предназначенная для копчения и обезвоживания пищевых продуктов в двух независимых шестисекционных модулях. Один модуль предназначен для копчения пищевых продуктов, второй – для обезвоживания (рисунок 2.6) [1].



Рисунок 2.6 – Внешний вид УКСУ с дымогенератором [1, 162]

На рисунке 2.7 изображен один из модулей установки. Нагрев думовоздушной смеси осуществляется тремя группами ТЭН.



1 –смесительная камера; 2 – циркуляционный вентилятор; 3 – тележка с продуктом; 4 – вытяжной вентилятор; 5 – дымогенератор; 6 – трубчатые электрические нагреватели.

Рисунок 2.7 – Модуль УКСУ [1, 162]

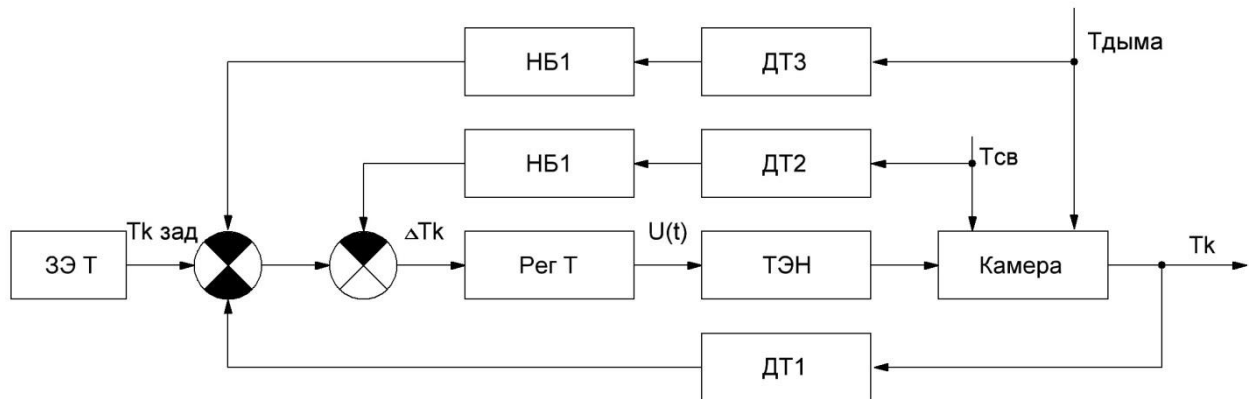
Циркуляция дымовоздушной смеси осуществляется с помощью вентилятора 2, а также клапана изменения потока циркуляции. Клапан подачи свежего воздуха и клапан подачи дымовоздушной смеси изменяют поток этих сред в циркуляционный трубопровод. Уменьшение влажности в коптильной камере осуществляется изменением производительности вытяжного вентилятора 4, а также клапана изменения потока вытяжки [162].

Мощность исполнительных механизмов установки представлена в таблице 2.13.

Таблица 2.13 –Мощность исполнительных механизмов УКСУ

Мощность	Модуль копчения	Модуль обезвоживания
1 группа нагревателей	22,5	7,5
2 группа нагревателей	18	6
3 группа нагревателей	18	6
Циркуляционного вентилятора	4,5	2,8
Вытяжного вентилятора	1,4	1,4

В САУ процессом копчения в УКСУ имеется 3 однотипных контура управления температурой, представленных на рисунке 2.8.



$T_{св}$ — температура свежего воздуха, поступающего в камеру из цеха;

$T_{дыма}$ — температура дыма, поступающего в камеру от дымогенератора;

НБ – нормирующий блок

Рисунок 2.8 – Контур управления температурой в УКСУ

Задающее воздействие в контуре регулирования температуры поступает с задающего элемента температуры ЗЭТ. ПИД-регулятор температуры РЕГ Т, реализованный в программируемом логическом контроллере, формирует управляющее воздействие $U(t)$ на основе разности температур ΔT_k . Разность вычисляется на основании нормированных данных с датчиков температуры дыма $T_{дыма}$, расположенного в патрубке, связывающем дымогенератор [106] с установкой, и датчика свежего воздуха $T_{св}$, расположенного в патрубке подачи цехового воздуха в установку. Воздействия по температуре от дымогенератора и воздуха цеха являются возмущающими для модуля установки. Учет данных воздействий в системе позволяет повысить быстродействие контура и качество управления процессом в целом.

Главная обратная связь контура поступает с датчика температуры дымовоздушной смеси DT_1 . Регулятор РЕГ Т воздействует на симисторный фазовый регулятор мощности, что позволяет подводить энергию к ТЭН в диапазоне от 0 до 22,5 кВт. Теплота, создаваемая ТЭН, поступает в модуль УКСУ и нагревает дымовоздушную смесь.

Контур управления влажностью в виде функциональной схемы изображен на рисунке 2.9.

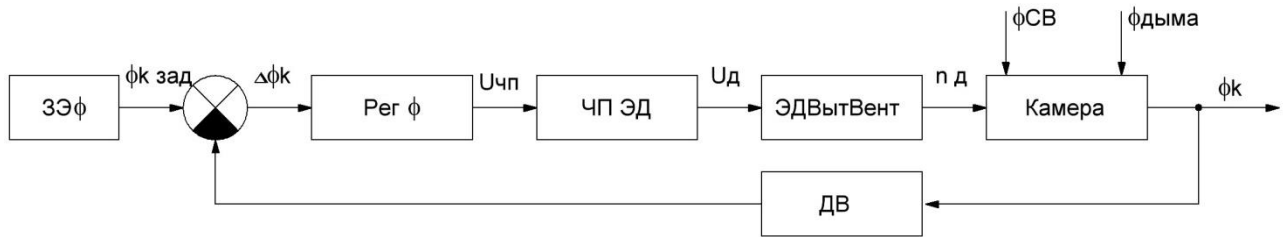


Рисунок 2.9 – Контур управления влажностью в модуле УКСУ

Задающее воздействие в контур регулирования влажности поступает с задающего элемента ЗЭф. Сигнал обратной связи с датчика влажности и сигнал задания $\phi_k \text{ зад}$ формируют рассогласование $\Delta\phi_k$. Регулятор Рег ϕ на основании рассогласования формирует, на основании ПИД-закона, управляющее воздействие $U_{чп}$, поступающее в виде задания на частотный преобразователь вытяжного вентилятора. Увеличение частоты вращения вентилятора более интенсивно вытягивает влажность из модуля УКСУ. Увеличение влажности происходит за счет влаги, испаряющейся из сырья. Возмущающими воздействиями на данный контур регулирования являются влажность дымовоздушной смеси $\phi_{\text{дыма}}$, а также влажность свежего воздуха $\phi_{\text{СВ}}$.

При управлении процессом копчения пищевой продукции необходимо обеспечить [12]:

- без перерегулирования контура стабилизации температуры;
- максимальное быстродействие контура управления влажностью на этапе копчения.

2.2.5 Малогабаритная сушильная установка УПОР-М (модернизированная установка поиска оптимальных режимов)

Для проведения процессов обезвоживания и копчения необходимо проведение экспериментов по подбору оптимальных параметров режимов. Такие режимы оптимизируют по количеству потребленной энергии, выбросам вредных веществ в атмосферу, себестоимости продукции [71, 105, 162].

Для осуществления научных исследований по поиску и научному обоснованию режимов обезвоживания и копчения проведена разработка малогабаритной установки для поиска оптимальных режимов (УПОР-М), (рисунке 2.10) [71, 105, 162].



Рисунок 2.10 – Малогабаритная установка для поиска оптимальных режимов [71]

Установка состоит из четырех независимых модулей. В каждом модуле имеется камера смешения с установленным ТЭН (3). Из верхней части модуля выходят два воздуховода. Первый воздуховод (5) с установленным рециркуляционным вентилятором (4), второй – с вытяжным вентилятором (6).

Рециркуляционный воздуховод с ответной стороны соединен с смесительной камерой. В каждой секции находятся датчик температуры 7 и датчик влажности 8.

Потеря массы сырья при обезвоживании измеряется датчиками веса 9. Измерение потребления электроэнергии осуществляется счетчиком электроэнергии 11.

2.2.5 Методы разработки систем управления с прогнозированием (МРС)

Модель управления

Методика прогнозирования может быть представлена в виде схемы (рисунок 2.11). На оси X представлены моменты времени τ , при этом начальный момент принимается за $\tau = t$. Объект управления до времени $\tau = t$ получал воздействие $u(\tau)$ и оказался в состоянии $x(t)$ во время t , но модель процессов, происходивших ранее t нам неизвестна [11, 197, 221, 226].

В системе управляющее воздействие $\bar{u} = \overline{u(\tau)}$ является функцией времени при $\tau \in [t, t + T_p]$. Интегрирование функционала $\dot{\bar{x}}(\tau) = \bar{f}(\tau, \bar{x}(\tau), \bar{u}(\tau))$, $\bar{x}|_{\tau=t} = x(t)$ (с начальным условием $\bar{x}|_{\tau=t} = x(t)$) позволит найти решение $\bar{x} = \bar{x}(\tau, x(t), \bar{u}(\tau))$. Такое решения называется прогноз поведения объекта управления с горизонтом предсказания T_p [11].

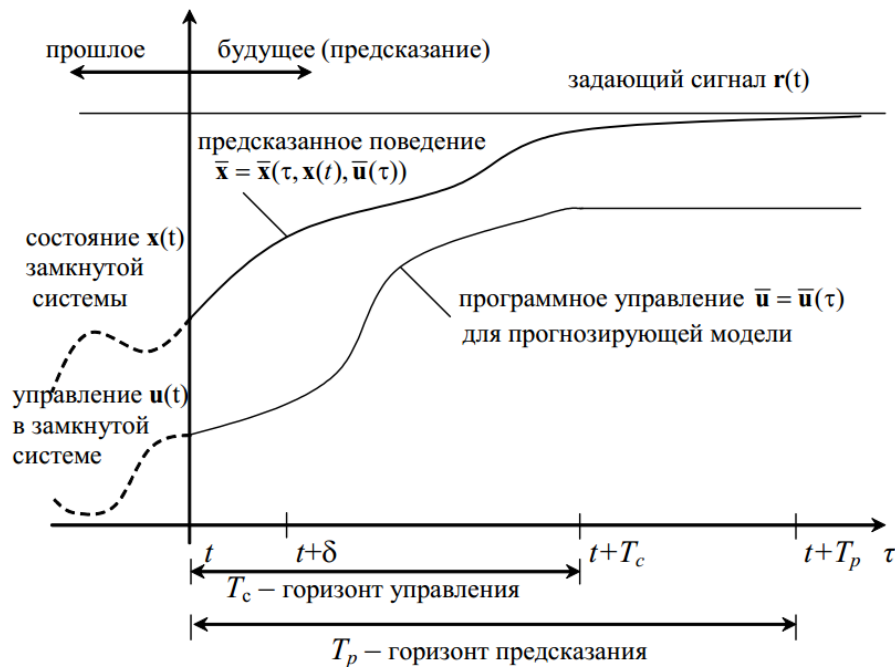


Рисунок 2.11 – Управление и предсказанное поведение объекта.

Система управления с обратной связью представлена на рисунке 2.12 и 2.13.



Рисунок 2.12 – Схема управления с прогнозом [11]

Оценка качества управления осуществляется с помощью векторных функций $r_x(t)$ и $r_u(t)$ функционалом вида J [11].

$$J(x(t), \bar{u}(\tau), T_p, T_c) = \int_t^{t+T_p} F(\bar{x}(\tau, x(t), \bar{u}(\tau)), \bar{u}(\tau), r_x(\tau), r_u(\tau)) d\tau \quad (5)$$

T_c обозначает горизонт управления. На данном временном участке, выполняется следующее равенство:

$$\bar{u}(\tau) = \bar{u}(t + T_c) \quad \forall \tau \in [t + T_c, t + T_p]. \quad (6)$$

В основе функционала (5) используется следующая функция: [11]

$$F = (\bar{x} - r_x)' R (\bar{x} - r_x) + (\bar{u} - r_u)' Q (\bar{u} - r_u) \quad (7)$$

где R и Q – весовые матрицы.

R характеризует точность управления, а Q определяет меру его интенсивности.



Рисунок 2.13 – Прогноз управления объектом [11]

2.2.6 Методы разработки систем управления с нейросетевым контроллером с прогнозированием

Нейросетевой прогнозирующий контроллер имеет в основе модель нелинейного объекта, определенную с применением нейронной сети. Управляющее воздействие, вычисленное контроллером, будет оптимальным на определенном участке времени. Система идентификации определяет параметры математической модели объекта с помощью нейронной сети и позволяет реализовать управление с прогнозированием. Для реализации данного подхода необходимо обучить нейронную сеть, подачей специально созданных тестовых сигналов, сведением к минимуму значения невязки, используемой в обучающем алгоритме. Обучение сети позволяет получить динамические характеристики объекта и в последствии реализовать оптимальное управление (рисунок 2.14).

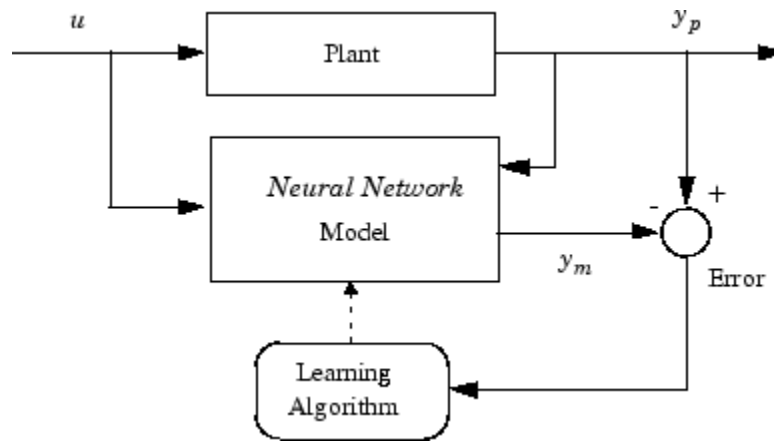


Рисунок 2.14 – Обучение нейронной сети

Нейросетевая модель объекта управления при вычислении управляющего воздействия применяет рассчитанные на предыдущих шагах значения выходных параметров объекта, чтобы предсказать будущие значения выхода объекта. Структура модели объекта управления нейронной сети представлена на рисунке 2.15.

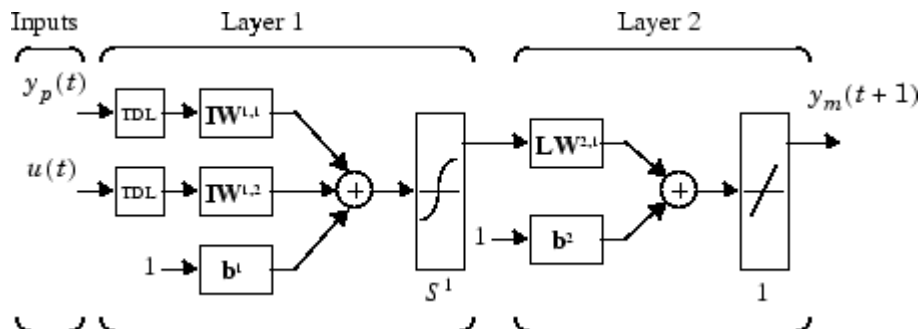


Рисунок 2.15 – Структура модели объекта управления нейронной сети

Нейронная сеть может быть обучена без применения реальной установки, с помощью данных, собранных от реального объекта [186].

Прогнозирующий метод управления модели основан на методе нейронного обобщенного управления с прогнозированием [239, 211, 246]. 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.

Схема управления с прогнозом с нейросетевым регулятором представлена на рисунке 2.16. Контроллер состоит из нейросетевой модели объекта управления построенного. Процесс оптимизации сводится к нахождению такого управления u' , при минимальном значении интегральной оценки J .

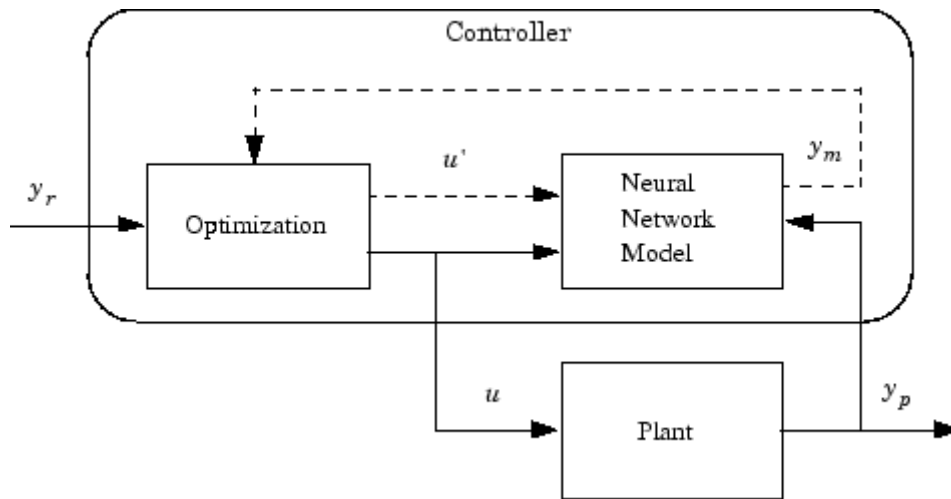


Рисунок 2.16 – Схема управления с прогнозом с нейросетевым регулятором.

2.3 Методы исследования

2.3.1 Методы исследования объектов систем автоматического регулирования

Объекты с распределенными параметрами изучают двумя классами методов: с применением моделирования и с применением идентификации [68, 167, 184, 243]. Моделирование проводится с применением дифференциальных уравнений в частных производных.

Объекты, аналитическое описание которых связано с большим количеством трудно учитываемых факторов исследуют с применением идентификации. Стерилизационная камера автоклава и продукт в таре являются примерами таких объектов. Математические модели стерилизационной камеры автоклава могут быть построены в виде «серого ящика» [19, 73, 78-80, 122, 223] и «черного ящика» [55]. Адекватность и корректность создаваемых моделей проверяется сравнением спектров выходных сигналов [12, 19].

«Черный ящик» описывается в виде передаточных функций [43, 112, 115]:

$$W(p) = K \frac{\tau_m \cdot p^m + \tau_{m-1} \cdot p^{m-1} + \dots + \tau_1 \cdot p + 1}{T_n \cdot p^n + T_{n-1} \cdot p^{n-1} + \dots + T_1 \cdot p + 1}, \quad (9)$$

где $T_n \dots T_1, \tau_m \dots \tau_1$ – постоянные времени;

p – оператор преобразования Лапласа;

K – коэффициент передачи;

m – порядок числителя;

n – порядок знаменателя.

Идентификация параметров математической модели проводится с экспериментом для оценки динамических свойств объекта [67, 75]. Эксперимент осуществляется с подачей на объект ступенчатого входного воздействия, а динамика объекта оценивается по переходной характеристике. Оценка качества подбора модели-кандидата осуществляется с применением итерационных многопараметрических методов оптимизации по интегральной оценке J :

$$J = \int_{t_1}^{t_2} ((T_{obj}^0(t)) - T_{mod}^0(t))^2 \cdot dt \rightarrow \min \quad (10)$$

где t_1, t_2 – начало и окончание переходного процесса соответственно;

$T_{obj}^0(t)$ – значение температуры объекта в момент времени t ;

$T_{mod}^0(t)$ – значение выхода модели объекта в момент времени t .

Решение дифференциальных уравнений производилось с применением численного метода Рунге-Кутты 4-го порядка с шагом 1 секунда [161].

2.3.2 Итерационные методы оптимизации

Ускоренный градиентный спуск обладает высокой по скорости сходимостью к точке оптимума. Недостатком метода является высокая чувствительность к точности вычисления частных производных функции [19, 214]

Покоординатный спуск имеет сравнительно невысокую по скорости сходимость. Алгоритмы многопараметрической оптимизации с применением последовательно ускоренного градиентного и покоординатного спусков, могут обеспечить высокую скорость нахождения оптимума и высокое качество подбора параметров [19].

Симплексный метод с адаптацией размера симплекса обладает сравнительно масштабируемостью при изменении количества оптимизируемых параметров и возможностью реализации ограничений.

Симплекс в k -мерном пространстве – это многогранник, имеющий ровно $(k + 1)$ вершину, образованную пересечением k гиперплоскостей. При оптимизации режима стерилизации с применением симплекс-метода параметры исходного режима стерилизации образуют нерегулярный (в общем случае) симплекс в факторном пространстве.

На первом шаге оцениваются значения критерия оптимизации во всех вершинах симплекса, после чего определяется соответствующая наихудшим результатам вершина. Далее строится новый симплекс, центр тяжести которого

смещен в сторону повышения качества процесса (т.е. уменьшения энергозатрат и продолжительности).

Симплекс рядом с областью оптимума поворачивается вокруг вершины с максимальным значением отклика. В этом случае программно реализовано уменьшение размера граней симплекса в два раза. Это позволяет задавать исходный симплекс сравнительно большим, чтобы быстро выходить в область оптимума, где размер симплекса будет уменьшаться, обеспечивая требуемую точность определения параметров режима стерилизации. При уменьшении размеров симплекса до заданной величины происходит остановка программного алгоритма.

Достоинством симплекс-методов является возможность задания произвольных границ разрешенной области. Так, если в случае расчета процесса по параметрам режима стерилизации какой-либо вершины симплекса будет получено значение фактической летальности меньше нормативной, такая вершина будет автоматически отброшена, а симплекс «отразится» от этой границы и продолжит движение в область оптимума. Подобным образом реализуются граничные условия на минимальные продолжительности этапов процесса (которые ограничиваются предельными скоростями изменения температуры в автоклаве).

2.3.3 Методы разработки модели тепловых процессов автоклава для тренажера процесса стерилизации консервов

Тренажер процесса стерилизации консервов является прототипом цифрового двойника процесса стерилизации (рисунок 2.17).

В качестве объекта математического моделирования выступает автоклав Н2-ИТА-602. В систему управления автоклава входят датчики дискретного типа: наличия верхнего уровня; 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.

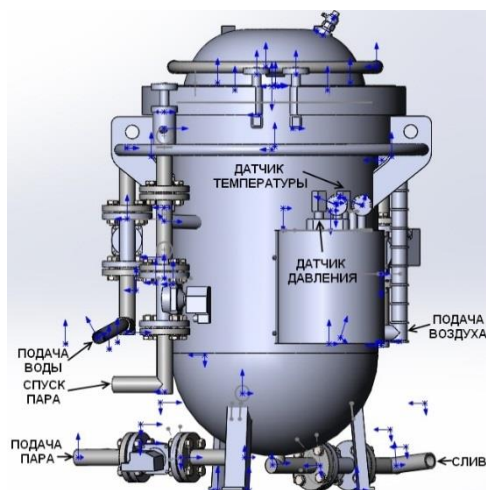


Рисунок 2.17 – 3D-модель автоклава Н2-ИТА-602

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 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 аппарата соответствует местам установки датчиков температуры и давления промышленных автоклавов. Полное описание имитационной модели приведено в Приложении 16.

2.4 Условия и организация экспериментов

2.4.1 Определение параметров температурного поля промышленного автоклава ASCAMAT-230

Температурное поле исследовано с применением логгеров (датчиков) Thermochron DS1922T по методике, описанной в инструкции и статьях [14, 17, 21, 23, 25, 45, 48-50, 52, 76, 93, 114, 118, 164]. Расположение датчиков в аппарате, заполненном банками с обрабатываемым сырьем, осуществлялось в соответствии с рисунком 2.18.

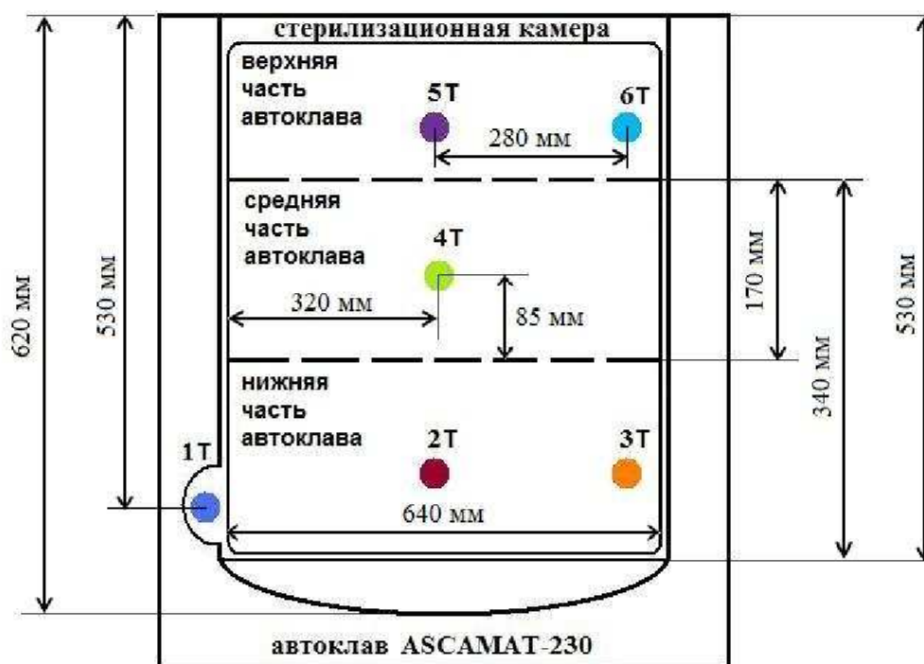


Рисунок 2.18 – Размещение логгеров температуры внутри стерилизационной камеры автоклава

Датчики Ellab TrackSense PRO были установлены в двух банках с однородным продуктом (паштет). Эксперимент проводился в 3-кратной повторяемости.

2.4.3 Программный комплекс для численного моделирования и оптимизации процесса термической обработки сырья Арктического региона

Для проведения исследования использовались следующие объекты и материалы: стерилизуемый продукт – печень трески (лат. *Gadus morhua* -

наиболее распространенного объекта лова Арктического региона) и новый вид упаковки – конусная металлическая банка Impress (38К), автоклав АВК-30М, полностью имитирующий процесс стерилизации в современных импортных и отечественных промышленных автоклавах (ASCAMAT (Германия), Panniny (Италия), АГК и др.), промышленный автоклав ASCAMAT 230 и логгеры температуры Ellab TrackSense PRO (Дания).

2.4.4 Технология «Цифровых двойников»

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.

Предварительный национальный стандарт Российской Федерации ПНСТ 429-2020 «Умное производство. Двойники цифровые производства. Часть 1. Общие положения» определяет цифровой двойник производства как детальное моделирование конфигураций физических сущностей и динамическое моделирование изменений продукции, процесса и ресурсов в процессе производства. Цифровой двойник производства основан на цифровой модели, которая постоянно обновляется и изменяется по мере изменения физического аналога с целью синхронного представления состояния, условий работы, конфигурации продукта и состояния ресурсов. В том же стандарте понятие цифрового двойника определено как программно-аппаратный комплекс, реализующий комплексную динамическую модель для исследования и управления деятельностью социотехнической системы.

Цифровой двойник производства может существовать на протяжении всего жизненного цикла и может использовать аспекты виртуальной среды (высокая точность, мультифизические возможности, внешние источники данных и т. д.), вычислительные методы (виртуальное тестирование, оптимизация, прогнозирование и т. д.), а также аспекты физической среды (динамика показателей производительности, отзывы клиентов, стоимость и т. д.) для

улучшения элементов всей системы (конструкции, поведения, технологичности и т. д.).

Цифровой двойник производства представляет собой цифровую модель, которая постоянно обновляется и изменяется по мере изменения физического аналога с целью синхронного представления данных о статусе, условиях работы, конфигурации продукта и состоянии ресурсов.

2.5 Выбор направления модернизации способов тепловой обработки пищевых продуктов

Одним из возможных направлений модернизации способов тепловой обработки пищевых продуктов является модернизированный способ стерилизации [30, 33, 55, 104, 215].

Суть способа в достижении F-эффекта, не более чем на 10 % большего F_T^Z . Численное моделирование процесса стерилизации позволяет осуществлять расчет значения L_T^Z , согласно выражению:

$$L_T^Z = \int_0^{\tau} \frac{d\tau}{10^{\frac{T_{baz} - T(\tau)}{z}}} \quad (11)$$

где $T_{пр}(\tau)$ – расчетное значение температуры продукта в данный момент времени, °C;

τ – временной интервал процесса стерилизации, сек;

z – константа термоустойчивости, °C;

T_{baz} – температура, принятая за базисную, °C.

Предварительное исследование процесса стерилизации на имитационных моделях показало высокую эффективность регулирования температуры в аппарате при соотношении набора F-эффекта 60-90% от заданного значения L_T^Z на этапах нагрева и стерилизации к 10-40 % на этапе охлаждения.

Схема контура регулирования температуры при модернизированном способе стерилизации приведена на рисунке 2.19 [30, 33, 46, 54-55, 104, 123, 165].

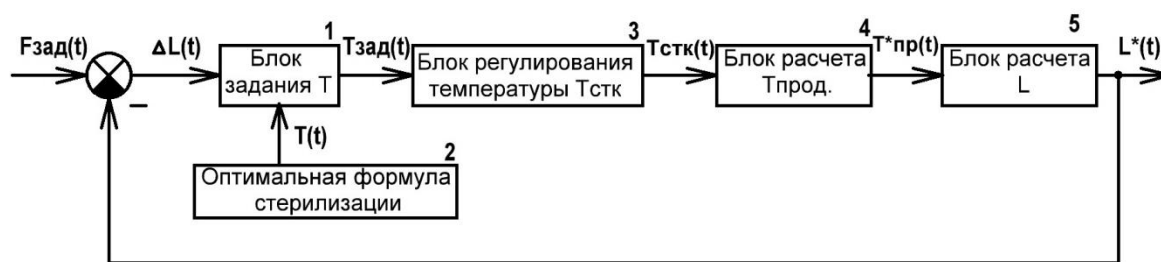


Рисунок 2.19 – Схема системы автоматического регулирования по фактическому стерилизующему эффекту (* – рассчитанные значения)

В схеме регулируемым параметром является $L^*(t)$ (рассчитанное значение фактической летальности ($L^*(t)$). Задающее воздействие поступает на вход в виде заданного значения фактического стерилизующего эффекта $F_{зад}(t)$. Разность (невязка) заданного и текущего значений фактической летальности $\Delta L(t)$ поступает на блок задания T . Расчетное значение невязки ε рассчитывается по математической модели.

При нулевом значении ε заданное значение температуры стерилизационной камеры $T_{зад}(t)$ определяется по блоку 2. При $\varepsilon \geq 0,1$ усл. мин. блок задания T увеличивает этап собственно стерилизации до снижения ε до нуля и обеспечить с учетом 10% запаса.

Параметры оптимальной формулы стерилизации оптимизированы по определенному критерию с учетом ограничений по максимальной температуре продукта

Регулирование текущего значения температуры в стерилизационной камере автоклава $T_{стк}(t)$ ведется как и при традиционном способе стерилизации (блок 3). Текущее рассчитанное значение температуры продукта в наименее прогреваемой области банки $T^*_{пр}(t)$ вычисляется для наименее прогреваемой области банки (блок 4) на основании адекватной математической модели продукта. Вычисление F-эффекта осуществляется по формуле (11) в блоке 5.

Модернизированный способ позволяет упростить предварительную разработку режимов стерилизации. При управлении по модернизированному способу разработчикам режимов достаточно получить адекватные математические модели, получить оптимальную формулу стерилизации и

осуществить контрольные проверки разработанных с применением численного моделирования режимов [55].

Данный подход предполагает при возможности изменение алгоритма работы САУ для расчета моделей технологического процесса и температурно-временных зависимостей в таре с сырьем, а также F- эффекта.

Новый подход позволяет реализовать высокотемпературную ступенчатую стерилизацию (HTST), с минимальными материальными и временными затратами при разработке режима с наилучшими характеристиками по затратам энергии, снижению количества полезных веществ, соответствующего микробиологическим требованиям.

2.6 Управление тепловой обработкой консервов, основанный на прогнозировании F-эффекта

Развитием модернизированного способа стерилизации является способ тепловой обработки, 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; 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.

Способ позволяет повысить эффективность процесса тепловой обработки консервов.

Способ управления процессом тепловой обработки консервов, включает измерение температуры среды T_c стерилизационной камеры автоклава датчиком для определения динамики температуры продукта T_n методом численного

решения дифференциального уравнения (математической модели пищевого продукта в консервной таре), заданного в виде передаточной функции:

Определение в режиме реального времени прогнозируемого значения фактической летальности процесса $F_{\text{факт}}^{\text{п}}$ выполняется по формуле (11).

Определение разности между прогнозируемым фактическим значением $F_{\text{факт}}^{\text{п}}$ и заданным значением $F_{\text{задан}}$ эффекта тепловой обработки по формуле:

$$E = F_{\text{задан}} - F_{\text{факт}}^{\text{п}}, \quad (12)$$

где E – рассогласование, усл. мин.;

F – заданное значение F -эффекта, усл. мин.;

$F_{\text{факт}}^{\text{п}}$ – прогнозируемое фактическое значение F -эффекта, усл. мин.

Термообработку осуществляют посредством воздействия на исполнительный механизм процесса тепловой обработки (клапан подачи пара, электронагреватель) согласно заданному режиму, записанному по формуле:

$$\frac{A - B - C}{T_0} F \quad (13)$$

где A – время нагрева, мин.;

B – время тепловой обработки (стерилизации или пастеризации, мин.;

C – время охлаждения, мин.;

T_0 – температура термообработки на этапе B , °C.

Время нагрева A и температура начала этапа тепловой обработки B могут быть увеличены для уменьшения времени тепловой обработки B , при этом температура продукта $T_{\text{п}}$ не должна превышать температуру термообработки T_0 на этапе тепловой обработки B .

Время тепловой обработки B зависит от рассогласования E и может быть уменьшено в случае достижения прогнозируемым значением фактической летальности $F_{\text{факт}}^{\text{п}}$ заданного значения F за время меньшее, чем B или увеличено в случае, если рассогласование E на момент окончания времени тепловой обработки положительно.

По окончании времени тепловой обработки B выполняют этап охлаждения консервов.

Расчет заданного значения эффекта тепловой обработки $F_{\text{задан}}$ осуществляют по формуле:

$$F_{\text{задан}} = (F_{\text{н}} + \Delta F) - F_{\text{ох}}, \quad (14)$$

где $F_{\text{задан}}$ – заданное значение F-эффекта, усл. мин.;

$F_{\text{н}}$ – значение нормативного F-эффекта, усл. мин.;

$F_{\text{ох}}$ – значение F-эффекта, которое набирается на этапе охлаждения согласно заданному режиму, усл. мин.,

ΔF – запас по эффекту тепловой обработки, усл. мин.

Функциональная схема контура управления температурой в стерилизационной камере автоклава по модернизированному способу представлена на рисунке 2.20. Способ позволяет сократить в 2 раза процесс стерилизации по времени, тем самым повысив его эффективность.

Недостатками модернизированного способа являются:

- применение способа только для процесса стерилизации консервов в паровой среде автоклава, но не рассматривает другие варианты термообработки, такие как проведение процесса стерилизации в другой среде и проведение процесса пастеризации консервов;
- реализация способа связана определенными требованиями к размещению тары с датчиком внутри стерилизационной камеры. Данные требования понижают надежность системы, повышает ее стоимость и увеличивает производственные затраты.

Технический результат при создании нового способа управления состоит в повышении эффективности процесса тепловой обработки за счет снижения затрат на производство путем уменьшения расходов:

- на энергию, необходимую для проведения процесса тепловой обработки;
- на установку и обслуживание датчика температуры в консервной таре;
- на энергию, необходимую для тепловой обработки продукта выше температуры T_0 с потерей важных органолептических и физико-химических показателей продукта, а также за счёт исключения выработки бракованной продукции при внезапном прекращении подачи теплоносителя.

Для достижения указанного технического результата в способе управления процессом тепловой обработки консервов определяют прогнозируемое значение фактической летальности включения процесса $F_{\text{факт}}^{\text{п}}$ на основе температуры среды и имитационной модели.

Достоверность прогнозируемого значения $F_{\text{факт}}^{\text{п}}$ фактической летальности (F-эффекта) процесса термообработки консервов, определяемой предложенным способом, обеспечивается проработкой и адекватностью имитационной модели, используемых методик, базирующихся на современной теории автоматического управления.

Отличительным признаком является использование имитационной модели процесса тепловой обработки, необходимой для определения прогнозируемого значения фактической летальности (F-эффекта) консервов.

Способ иллюстрируется схемами, представленными на рисунках 2.20-2.21. На рисунке 2.20 представлена функциональная схема системы управления процессом стерилизации консервов по модернизированному способу, на рисунке 2.21 – функциональная схема управления процессом тепловой обработки консервов с прогнозированием F-эффекта.

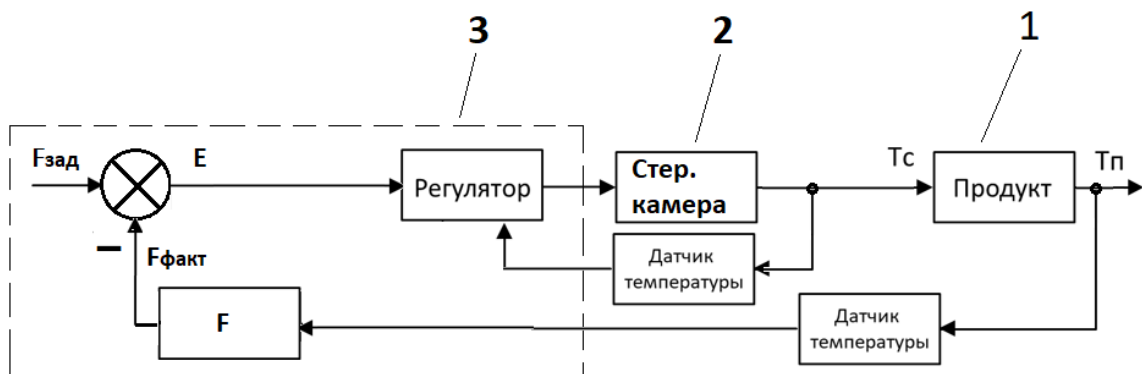


Рисунок 2.20 – Функциональная схема системы управления процессом стерилизации консервов с прогнозированием F-эффекта

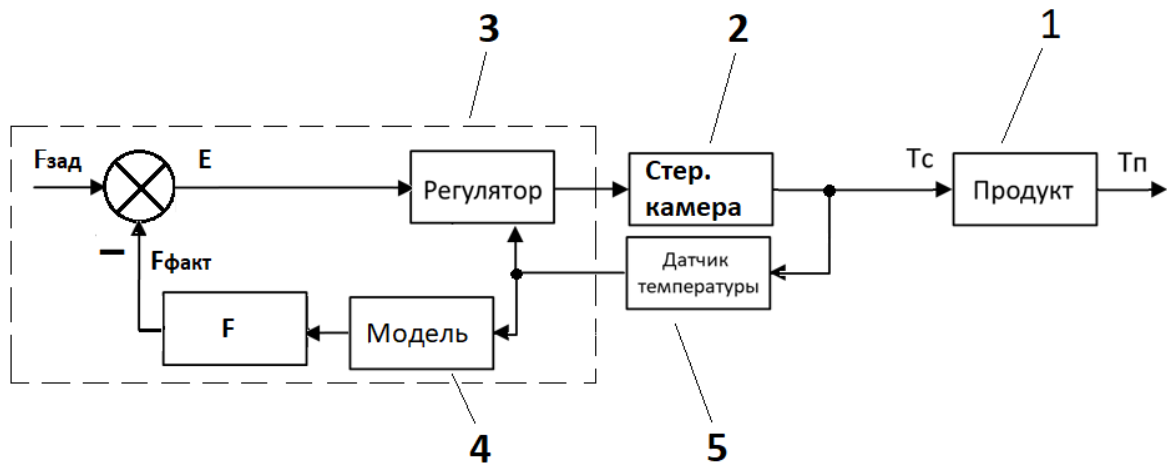


Рисунок 2.21 – Функциональная схема системы управления процессом стерилизации консервов по модернизированному способу

Предложенный способ позволяет уменьшить на производство при проведении процесса тепловой обработки консервов затраты (за счёт снижения продолжительности стерилизации) и тем самым повысить эффективность процесса в сравнении с эффективностью модернизированного способа на 15-20 процентов, о чем свидетельствуют кривые температур в стерилизационной камере и банке, фактического стерилизующего эффекта и энергозатрат при проведении процесса тепловой обработки по модернизированному способу (рисунок 2.22) и по предлагаемому способу управления тепловой обработкой консервов, основанному на прогнозировании F-эффекта (рисунок 2.23).

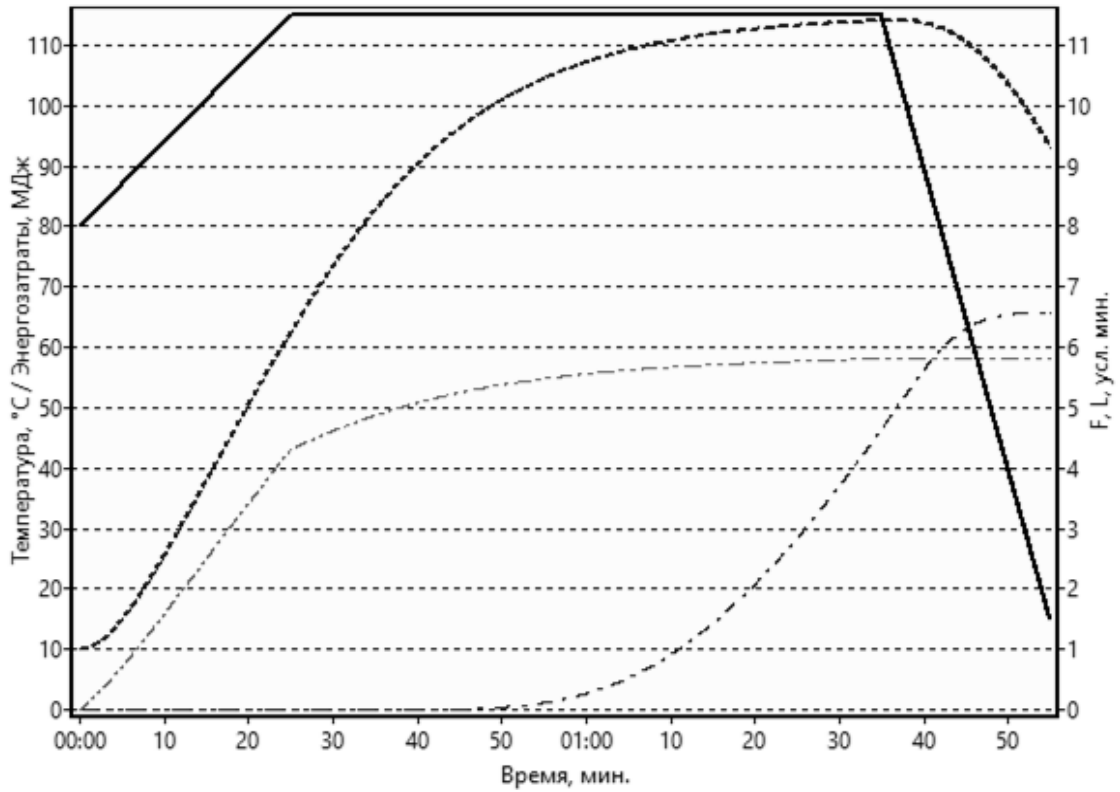


Рисунок 2.22 – Графики температур, F-эффекта и энергозатрат при проведении стерилизации по модернизированному способу

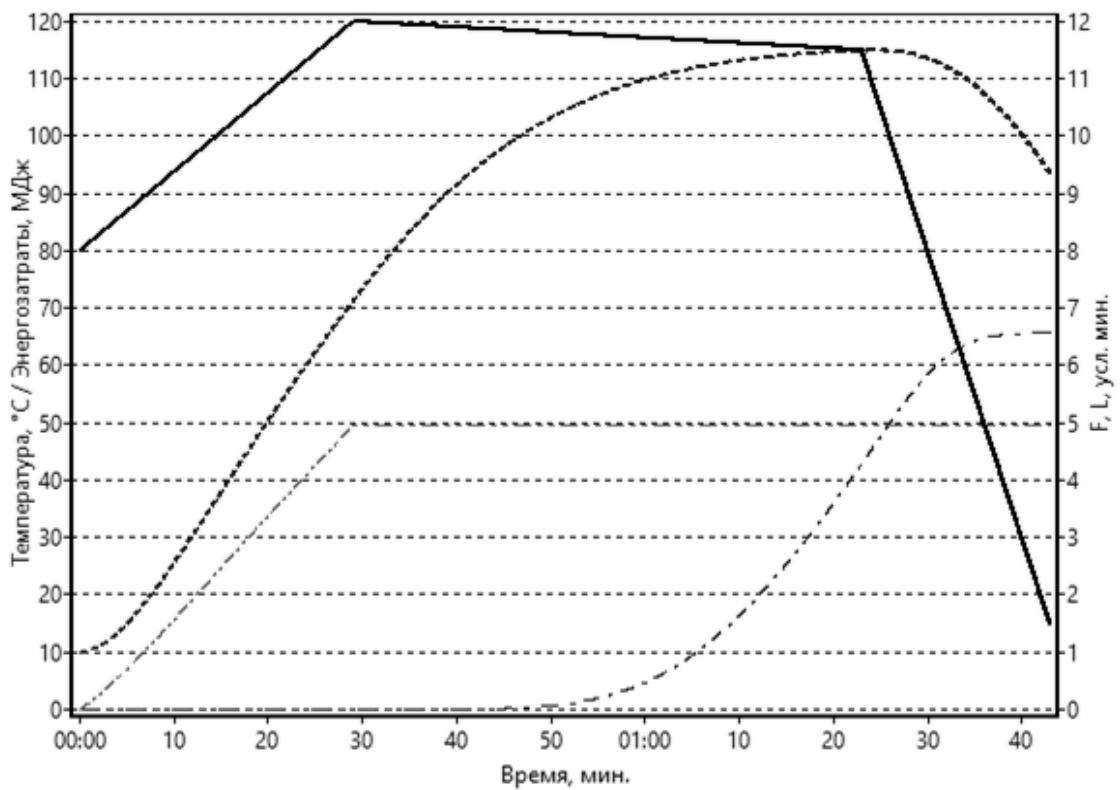


Рисунок 2.23 – Графики температур, F-эффекта и энергозатрат при проведении стерилизации с прогнозированием F-эффекта

Предлагаемый способ реализуется следующим образом. Предварительно проводят идентификацию параметров математической модели (передаточной функции) продукта в консервной таре 1 по его переходной характеристике, которую получают экспериментально в наименее прогреваемой точке продукта в таре, расположенной в наименее прогреваемой области автоклава. Также параметры математической модели продукта могут быть взяты из научных публикаций по результатам исследований, проводимых по данной тематике, на основе которых впоследствии может быть составлен справочник.

Управление процессом тепловой обработки осуществляют с помощью программируемого контроллера 3. Вводятся параметры модели продукта 4 и заданное значение $F_{\text{задан}}$ летальности процесса, которое необходимо достигнуть. Выполняется настройка регулятора в соответствии с режимом тепловой обработки.

В процессе тепловой обработки с помощью датчика температуры 5, размещенного в стерилизационной камере 2, осуществляют измерение текущей температуры среды T_c автоклава. По измеренному значению температуры T_c регулятор 3 численно решает дифференциальное уравнение математической модели 4 продукта в таре 1 и определяет его температурную динамику $T_{\text{п}}$, что позволяет сделать вывод о применении **виртуального датчика продукта**.

На основе температурной динамики продукта $T_{\text{п}}$ регулятор 4 в режиме реального времени рассчитывает текущее прогнозируемое значение фактической летальности процесса $F_{\text{факт}}^{\text{п}}$ термообработки консервов.

На основании величины рассогласования E регулятор формирует управляющее воздействие, подаваемое на регулирующий орган стерилизационной камеры 2 через исполнительный механизм. Этот процесс продолжается до тех пор, пока величина $F_{\text{факт}}^{\text{п}}$ не достигнет $F_{\text{задан}}$, после чего выполняют этап охлаждения консервов согласно режиму. На этапе охлаждения набирается нормативное значение F -эффекта, которое гарантирует микробиологическую безопасность пищевых консервов [244].

Динамика температуры среды автоклава T_c измеряется датчиком 5 и регистрируется регулятором 3, что позволяет оценить корректность температурно-временного режима проведенного процесса, следовательно, убедиться в безопасности и качестве полученного продукта.

2.7 Управление тепловой обработкой при обезвоживании и копчении пищевых продуктов с прогнозированием эффекта обезвоживания

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 [162].

Предлагаемый способ управления тепловой обработкой при обезвоживании и копчении в качестве критерия качества проведения процесса использует понятие **Н-эффекта**. Н-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 Н-эффекта. При релаксации (отлежке, т.е. прекращении тепловой обработки влагосодержание среды позволяет продукту обеспечить выход влаги из внутренних слоев. Оценку Н-эффекта можно проводить на основании данных о потере массы продукции (датчик веса) при обезвоживании при известных данных о влагосодержании среды (датчик температуры и влажности):

$$H(\tau) = \int_0^{\tau_{end}} 10^{\frac{d(\tau)-d_n}{x}} d\tau \quad (15)$$

где $H(\tau)$ – эффект обезвоживания, усл. мин.;

τ_{end} – время окончания процесса, мин;

$d(\tau)$ – временная зависимость влагосодержания в сушильной установке;

x – константа влагопотерь 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 на конец процесса. 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.

Выводы по 2 главе

Представлена программно-целевая модель, объекты и методы исследований, а также условия организации экспериментов. Приведены направления модернизации способов тепловой обработки пищевых продуктов.

Предложен модернизированный способ стерилизации консервов из гидробактерий, позволяющий проводить процесс стерилизации по фактическому стерилизующему эффекту.

Предложен способ управления тепловой обработкой консервов, основанный на прогнозировании F-эффекта. Такой способ может стать основой разработки щадящих энергоэффективных переменных режимов тепловой обработки продуктов.

Предложен способ управления тепловой обработкой при обезвоживании и копчении пищевых продуктов с прогнозированием Н-эффекта. Введены понятия Н-эффекта, как эффекта обезвоживания пищевых продуктов, а также С-эффекта

– эффекта готовности продукта при обезвоживании по органолептическим показателям и внешнему виду. Прогнозирование эффекта обезвоживания позволит создавать режимы обезвоживания с наилучшими показателями по энергозатратам и качеству продукции.

ГЛАВА 3. Результаты исследований тепловой обработки пищевых продуктов в автоклавах

3.1 Исследование цифровых комплексов регистрации температуры, применяемых при научном обосновании режимов тепловой обработки продуктов питания в автоклавах

При производстве консервированных продуктов питания применяют процессы тепловой обработки: стерилизация, либо пастеризация. Эти процессы проводят, как правило, в автоклаве при температуре от 60 до 130 °С, в зависимости от выбранного режима тепловой обработки. В качестве критерия, определяющего готовность продукта и его микробиологическую безопасность, используется значение фактической летальности процесса, при этом учитывается базисная температура проведения процесса тепловой обработки. Расчет фактического летального эффекта вычисляется суммированием величин летального действия нагрева, полученных при различных температурах [5-7], фиксируемых в продукте за время проведения процесса. Для автоматизации задачи получения температурной кинетики продукта требуется использовать специальные технические средства измерения и регистрации температуры.

В рамках данной работы проведен сравнительный анализ двух видов температурных регистраторов, используемых при проведении в водной среде процессов пастеризации и стерилизации пищевых продуктов. Тепловая обработка продукта из гидробионтов в банке № 2 проводилась в лабораторном автоклаве АВК-30М, который представляет собой модернизированный стерилизатор с системой автоматического управления [19, 55]. Для исследований был выбран режим пастеризации 10-60-20 при температурах 80, 85 и 95 °С соответственно. Процессы стерилизации консервов «Печень трески по-мурмански» в банке 1К были проведены в промышленном автоклаве ASCAMAT-230. Выбран следующий режим стерилизации консервов с противодавлением: 35-30-20 при температуре близкой к 120 °С. Во время

проведения всех экспериментов для регистрации температуры в наименее прогреваемой точке стерилизационной камеры автоклава использовались два вида логгеров: Thermochron iButton серии DS1922T и Ellab TrackSense PRO. Температура внутри консервной тары регистрировалась логгерами Ellab TrackSense PRO в точке с наименьшей прогреваемостью продукта.

В результате серии экспериментов получены графики температурной кинетики процессов пастеризации и стерилизации внутри стерилизационной камеры автоклава, а также графики абсолютной погрешности термографов Thermochron, которые изображены на рисунках 3.1–3.8. За эталонное средство измерения был принят логгер Ellab TrackSense PRO, поскольку имеет более точный чувствительный элемент. На рисунках 3.1, 3.3, 3.5 и 3.7 приняты следующие обозначения: красная сплошная линия – показания температуры в стерилизационной камере автоклава, полученные с помощью термографов Thermochron; синяя пунктирная линия с коротким штрихом – значения температуры в аппарате, измеренные логгерами Ellab; зеленая пунктирная линия с длинным штрихом – график изменения температуры продукта, измеренной в наименее прогреваемой точке внутри консервной тары с помощью регистраторов Ellab. На рисунках 3.2, 3.4, 3.6 и 3.8 приведены графики абсолютной погрешности значений логгера ThermoChron DS1922T без учета этапов нагрева и охлаждения термографов по причине различия динамики прогрева регистраторов (логгер ThermoChron DS1922T используется в капсуле Thermochron protector). Рассчитанные значения погрешностей температур термографов Thermochron iButton DS1922T, полученные при проведении процессов пастеризации и стерилизации, сведены в таблицу 3.1.

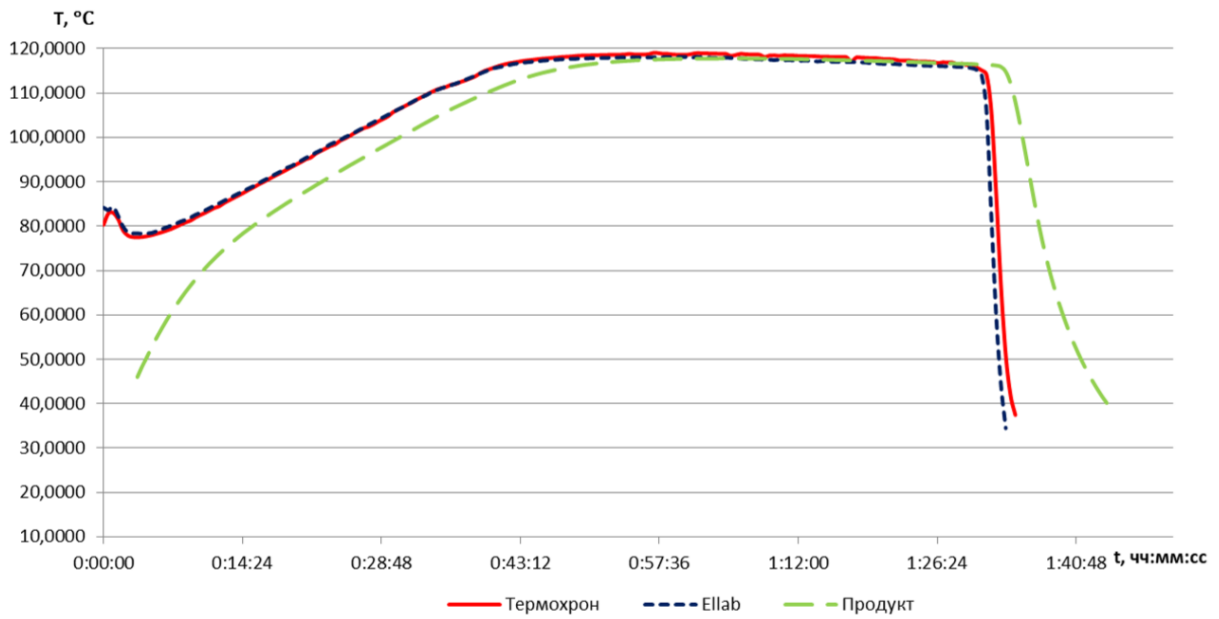


Рисунок 3.1 – Графики изменения температуры в процессе стерилизации №1.

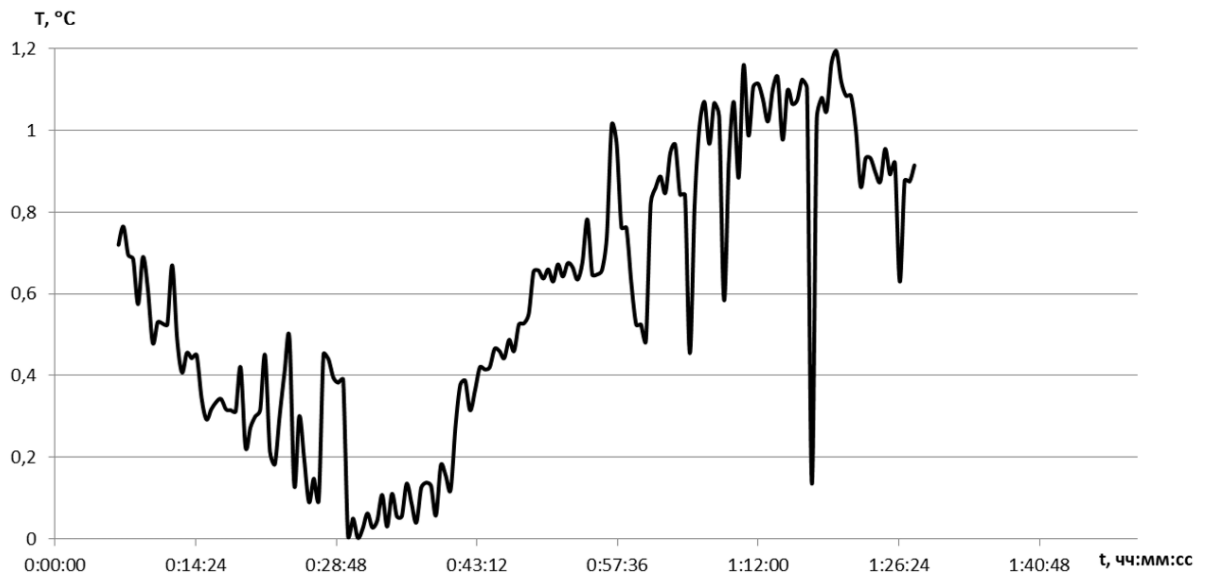


Рисунок 3.2 – График абсолютной погрешности значений логгера ThermoChron DS1922T в процессе стерилизации №1.

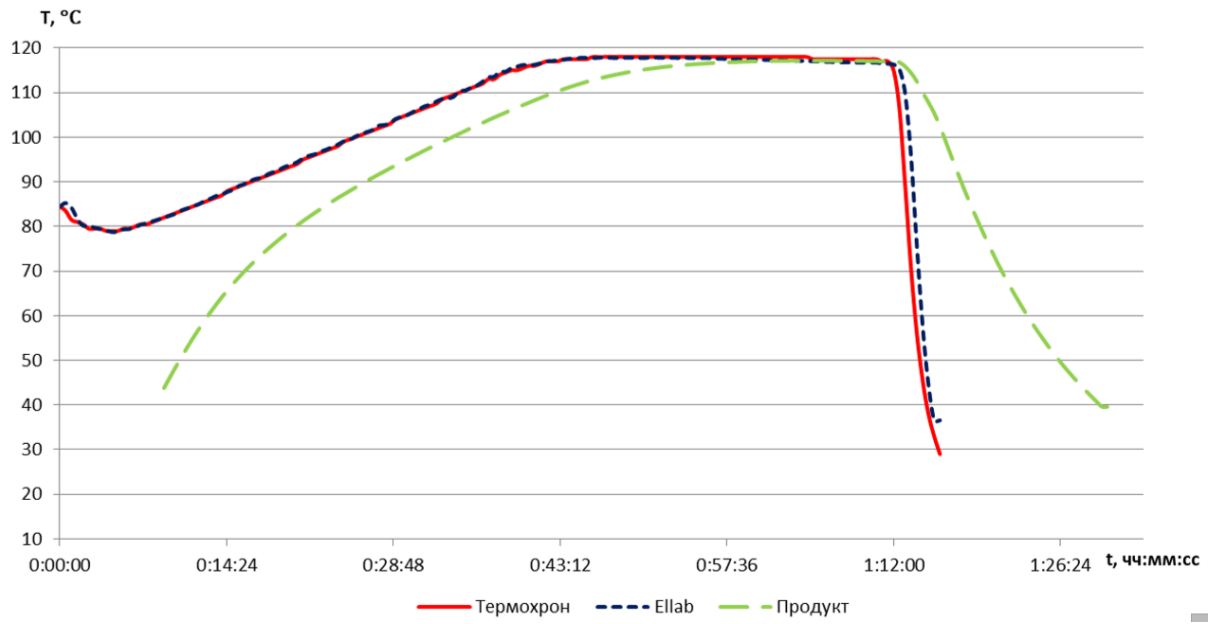


Рисунок 3.3 – Графики изменения температуры в процессе стерилизации №2.

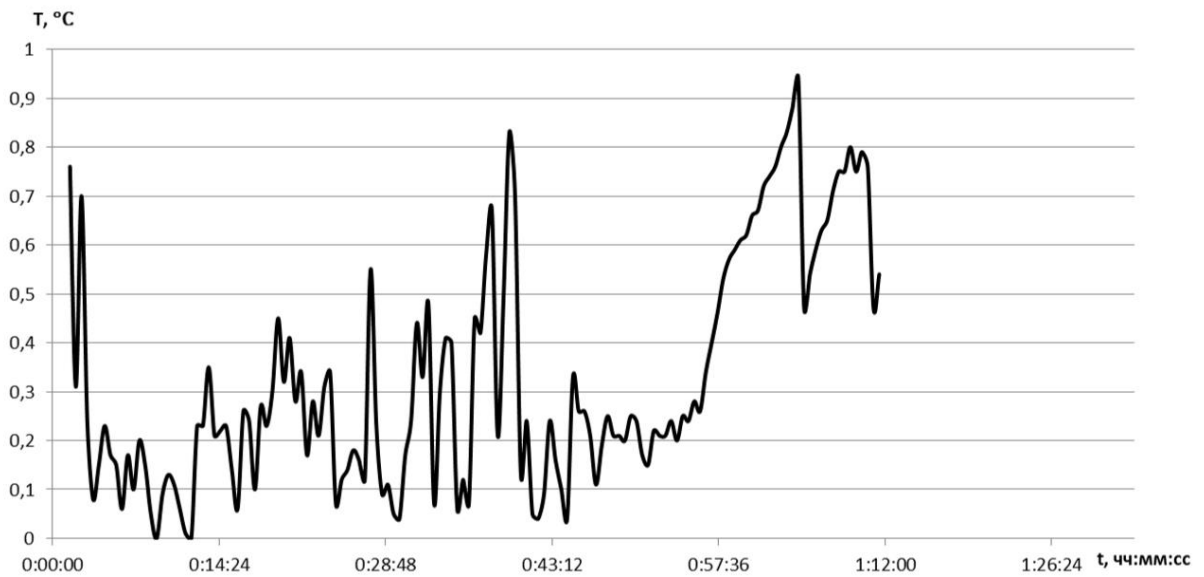


Рисунок 3.4 – График абсолютной погрешности значений логгера ThermoChron DS1922T в процессе стерилизации №2.

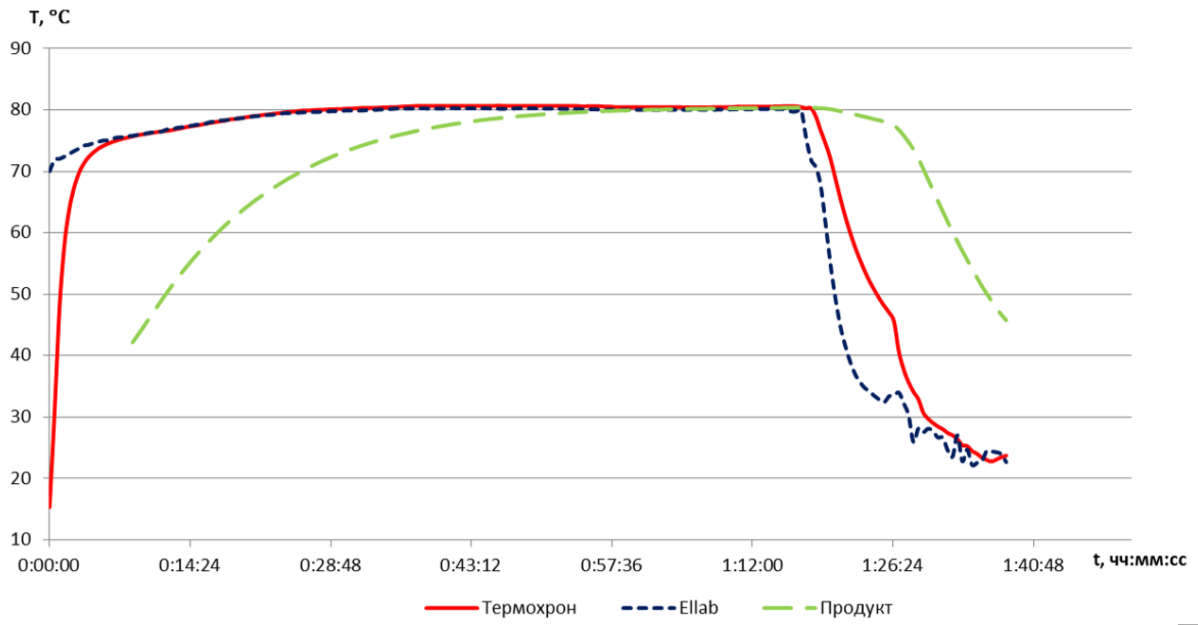


Рисунок 3.5 – Графики изменения температуры для процесса пастеризации №1.

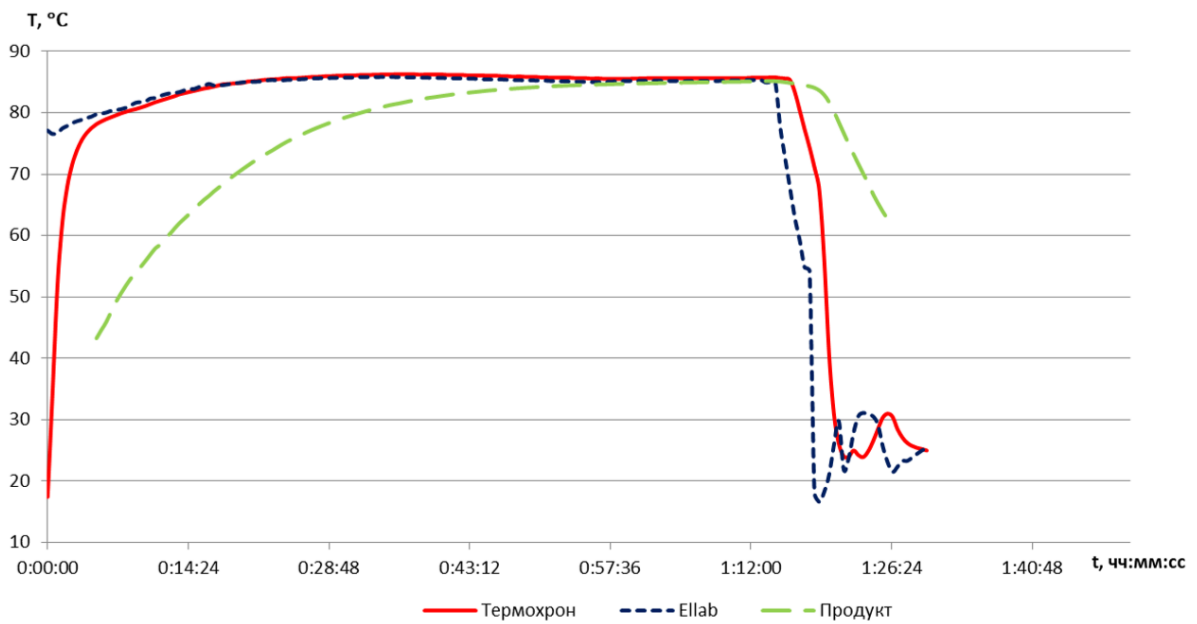


Рисунок 3.6 – Графики изменения температуры в процессе пастеризации №2.

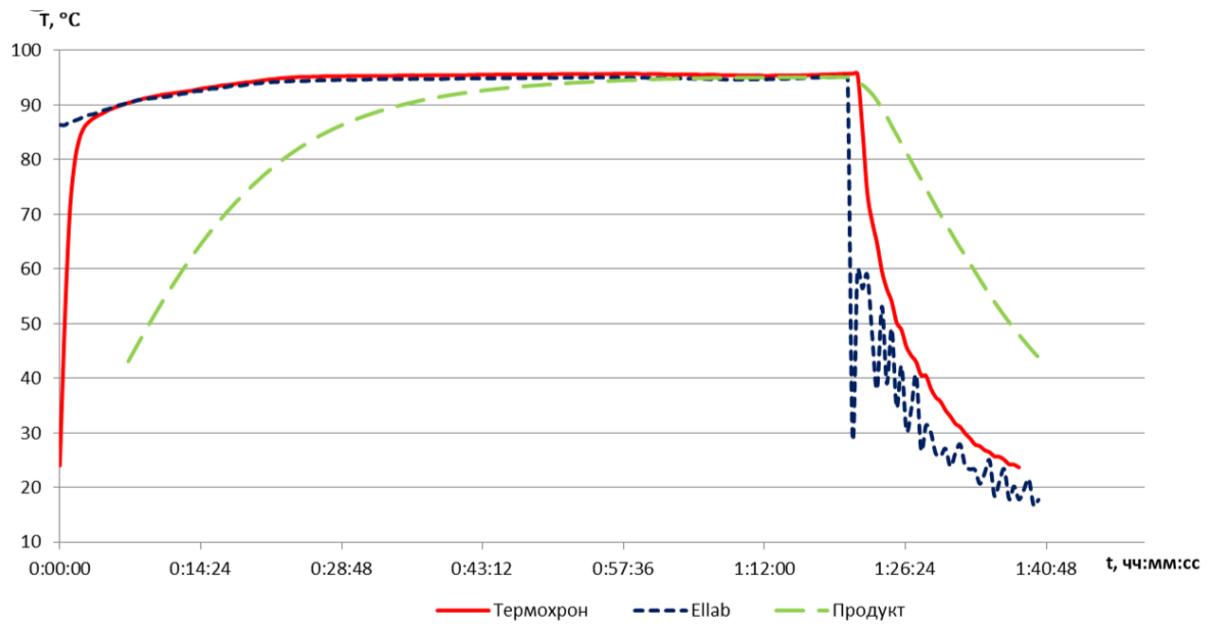


Рисунок 3.7 – Графики изменения температуры в процессе пастеризации №3.

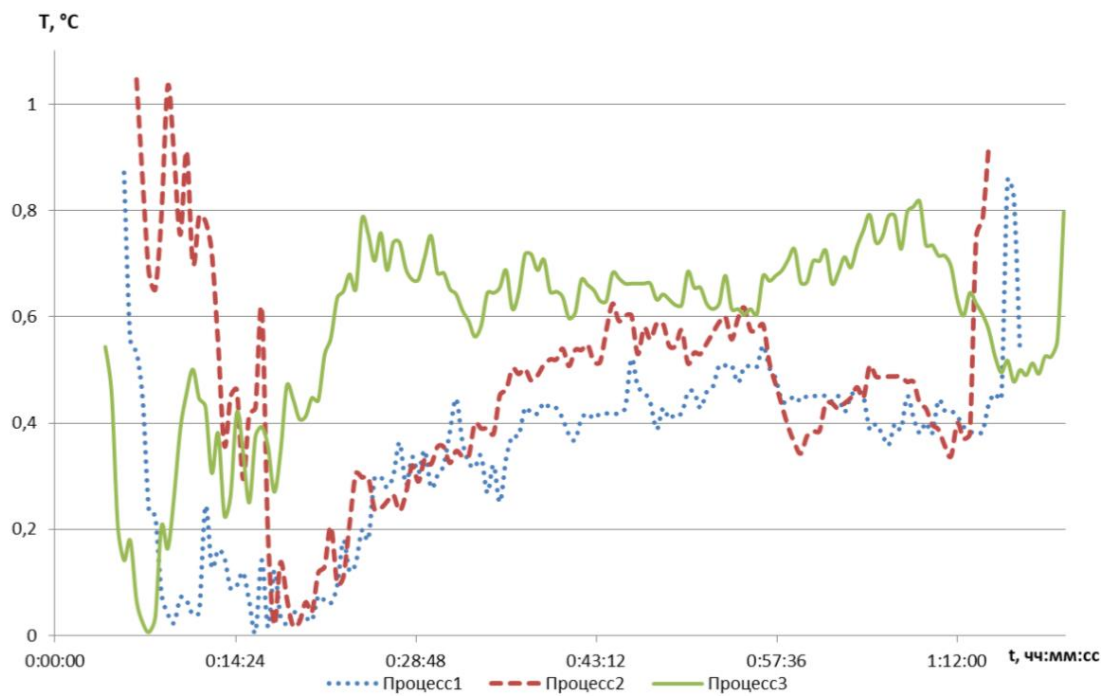


Рисунок 3.8 – Графики абсолютных погрешностей значений логов Thermochron DS1922T для процессов пастеризации.

Анализ таблицы 3.1 показывает, что максимальное отклонение результатов измерения температуры термографами Thermochron от показателей логов Ellab при проведении экспериментов составило не более $1,2^\circ\text{C}$. При этом

средняя абсолютная погрешность составила не более 0,6 °С, средняя относительная погрешность – не более 0,75 процента.

Таблица 3.1 – Погрешности значений температур термографов Thermochron.

Режим проведения технологического процесса	Минимальное значение абсолютной погрешности, °С	Максимальное значение абсолютной погрешности, °С	Среднее значение абсолютной погрешности, °С	Среднее значение относительной погрешности, %
Стерилизация				
Процесс №1 (35-30-20 при T = 118 °С)	0	1,2	0,59	0,5
Процесс №2 (35-30-20 при T = 118 °С)	0	0,94	0,33	0,3
Пастеризация				
Процесс №1 (10-60-20 при T = 80 °С)	0	0,87	0,34	0,43
Процесс №2 (10-60-20 при T = 85 °С)	0	1,05	0,46	0,58
Процесс №3 (10-60-20 при T = 95 °С)	0	0,82	0,58	0,74

Таким образом:

- абсолютная погрешность измерений термографов Thermochron серии DS1922T, заявленная производителем (не более 2,0 °С), была подтверждена экспериментально (не более 1,2 °С) при измерении температуры во время проведения процессов пастеризации и стерилизации;
- характеристики термографов Thermochron серии DS1922T удовлетворяют требованиям, предъявляемым к техническим средствам измерения температуры при проведении процессов термической обработки продуктов в автоклаве.

Таким образом, можно предложить следующие рекомендации по использованию термографов Thermochron:

- использование логгеров Thermochron серии DS1922T позволит снизить затраты на разработку режима термической обработки продукта, поскольку стоимость комплекта оборудования (регистраторы, считывающая станция, программное обеспечение) в 3 раза меньше аналогичного комплекта Ellab TrackSense PRO;
- термографы Thermochron для измерения температуры в водной среде при проведении процесса стерилизации должны быть помещены в защитную капсулу Thermochron protector для защиты от избыточного давления.

3.2 Исследование температурного поля автоклавов ASCAMAT-230 И АВК-30М.

Исследование температурного поля промышленного автоклава ASCAMAT-230

Исследование температурного поля автоклава ASCAMAT-230 на этапах нагрева, собственно стерилизации и охлаждения производилось датчиками температуры Thermochron iButton DS1922T-F5 по плану эксперимента. Данные, представленные на рисунках 3.9–3.11, свидетельствуют о том, что этап нагрева сопровождается отклонением данных в точках измерения температуры по окончании этапа не более одного градуса Цельсия. Температурное поле на данном этапе можно считать равномерным. Температура в точке 3 связана с наибольшим изменением температур в начале этапа и вследствие этого отличается от остальных.

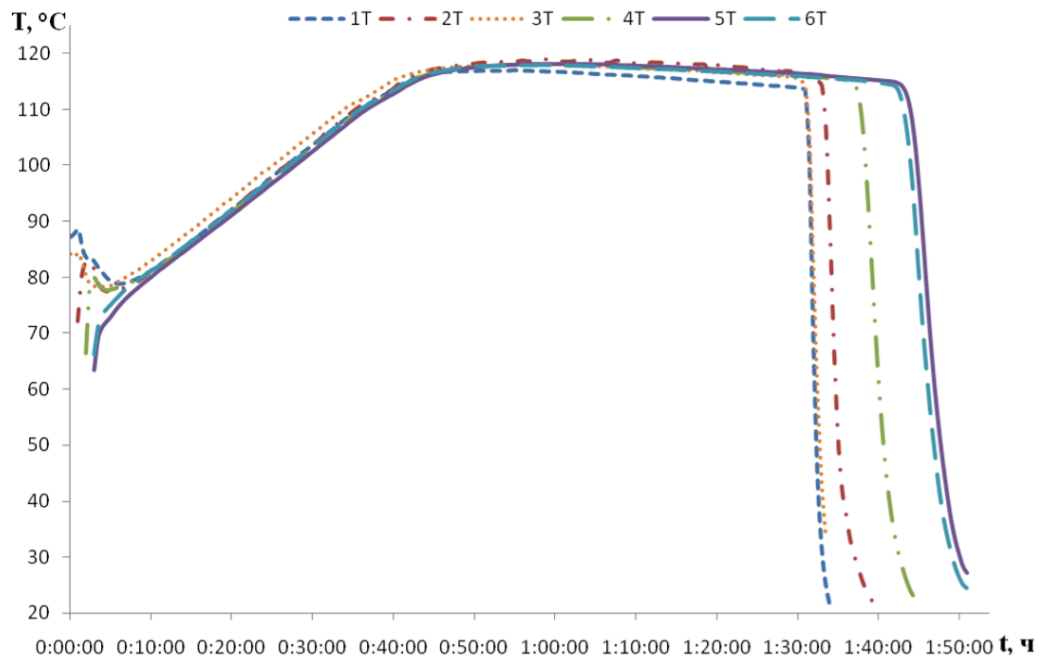


Рисунок 3.9 – Температурно-временные характеристики всего процесса стерилизации

Расположение клапана подачи охлаждающей воды (рисунок 3.11) обеспечивает более эффективное охлаждение нижней части аппарата (корзина 1). При этом датчик 4 охлаждается по прошествии десяти минут после охлаждения логов, находящихся в донной части аппарата.

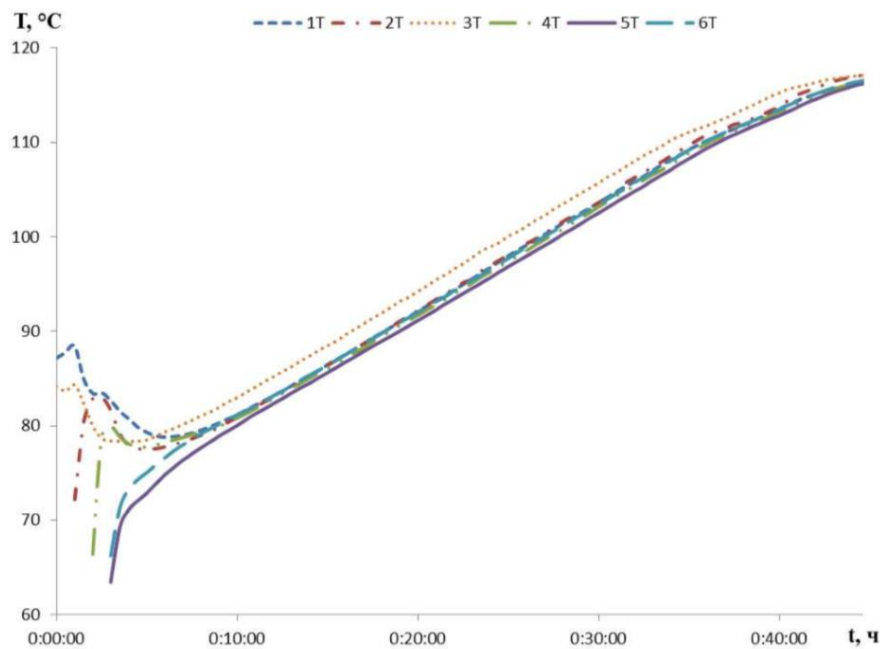


Рисунок 3.10 – Температурно-временные характеристики этапа нагрева

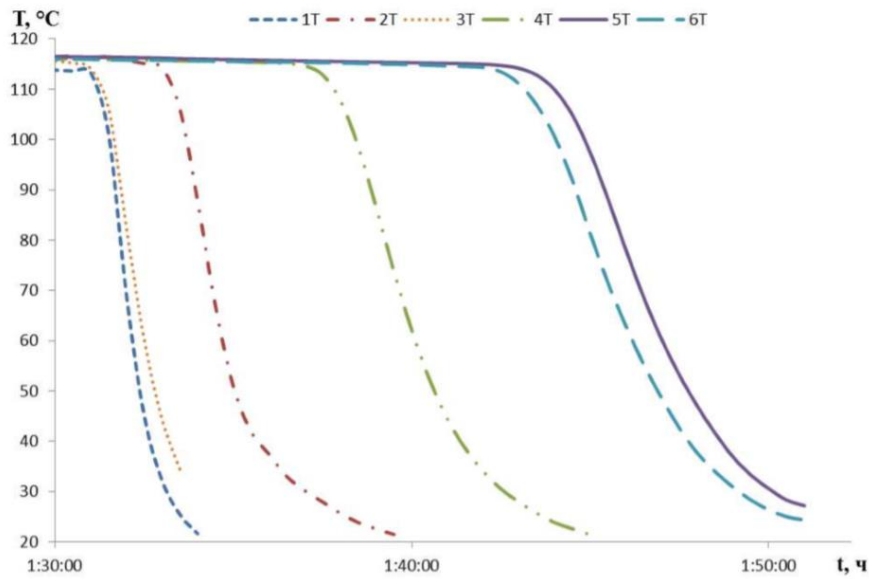


Рисунок 3.11 – Температурно-временные характеристики этапа охлаждения

Верхняя часть аппарата охлаждается (точки 5 и 6) на пятнадцать минут позже нижней части автоклава. Графики изменения температур камере и F-эффект, представлены на рисунках 3.12 и 3.13.

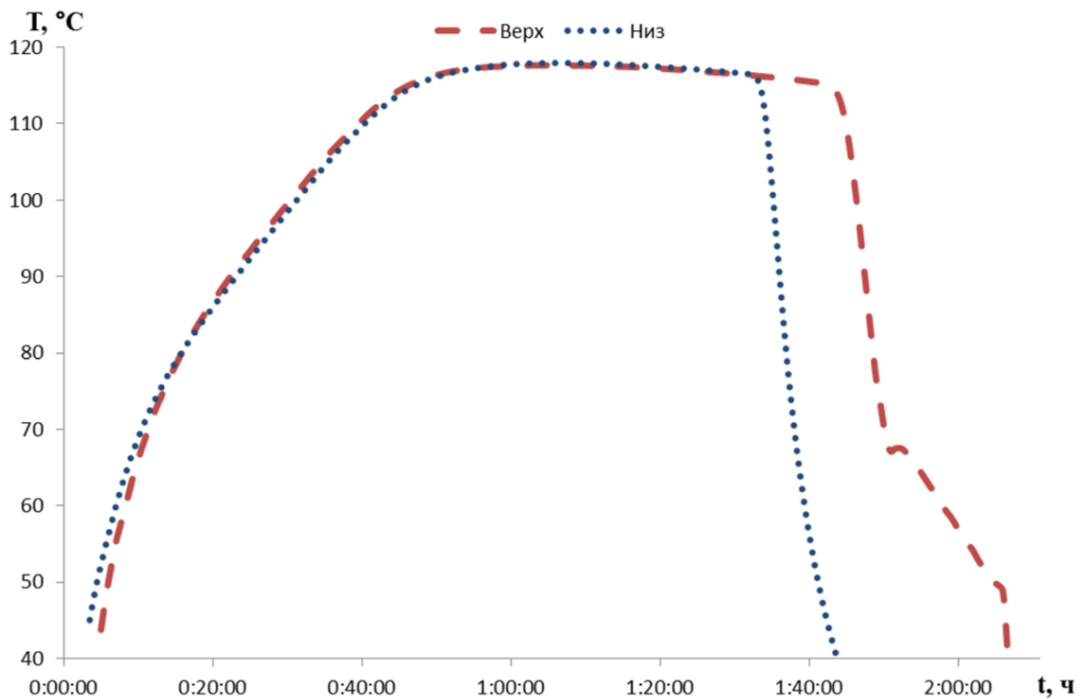


Рисунок 3.12 – Временные зависимости температуры внутри банок с продуктом

Тара с обрабатываемым сырьем прогревается через десять минут от начала нагрева. Отклонение температур на этапе собственно стерилизации в верхней и нижней частях автоклава составляет менее одного градуса. Инерционность охлаждения (10 минут) в банках с сырьем в верхней части аппарата по сравнению с тарой, установленной в нижней части приводит к отличию F-эффектов процесса (рисунок 3.13) на 10 %.

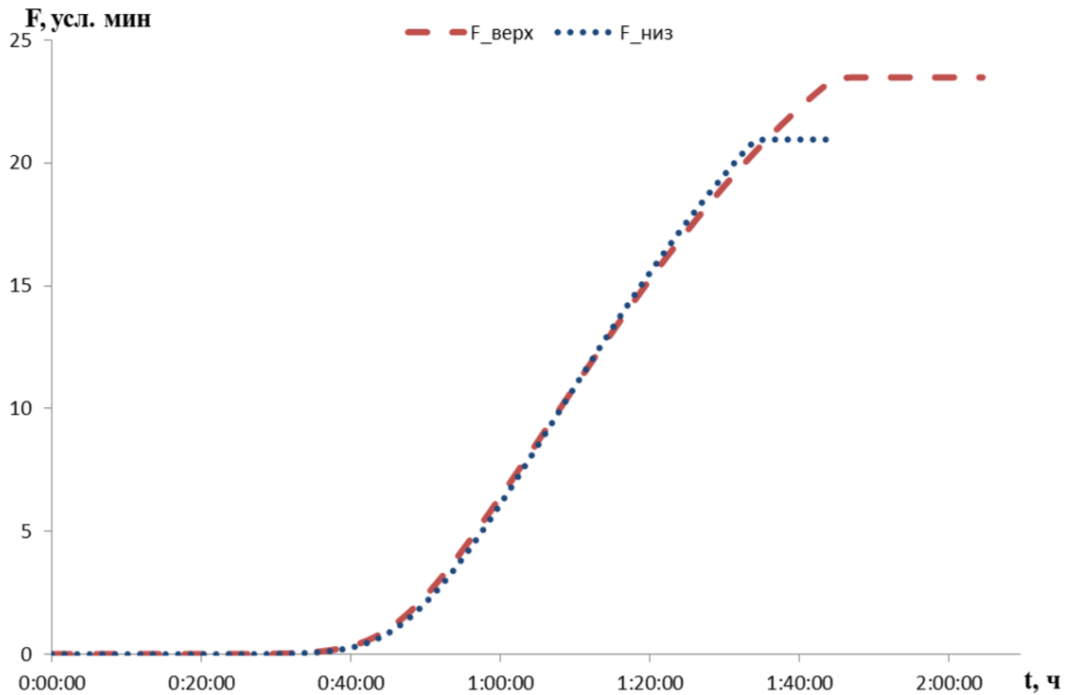


Рисунок 3.13 – Временные зависимости F-эффекта для банок с продуктом

Рекомендации по применению автоклава ASCAMAT-230 на основании проведенного исследования содержат следующие положения:

- предварительный подбор режимов предпочтительно проводить в донной части аппарата;
- предпочтительное расположение датчиков температуры системы автоматического управления – в нижней и верхней частях автоклава;
- проведение процесса стерилизации консервов в верхней и нижней корзинах обеспечивает разность F-эффектов на 10 %.

Исследование температурного поля автоклава АВК-30М.

Исследование по определению температурного поля в автоклаве АВК-30М представлен на рисунке 3.14. Графики, полученные с применением комплекса ЕШаб подтверждают равномерность нагрева и охлаждения при стерилизации в водной среде.

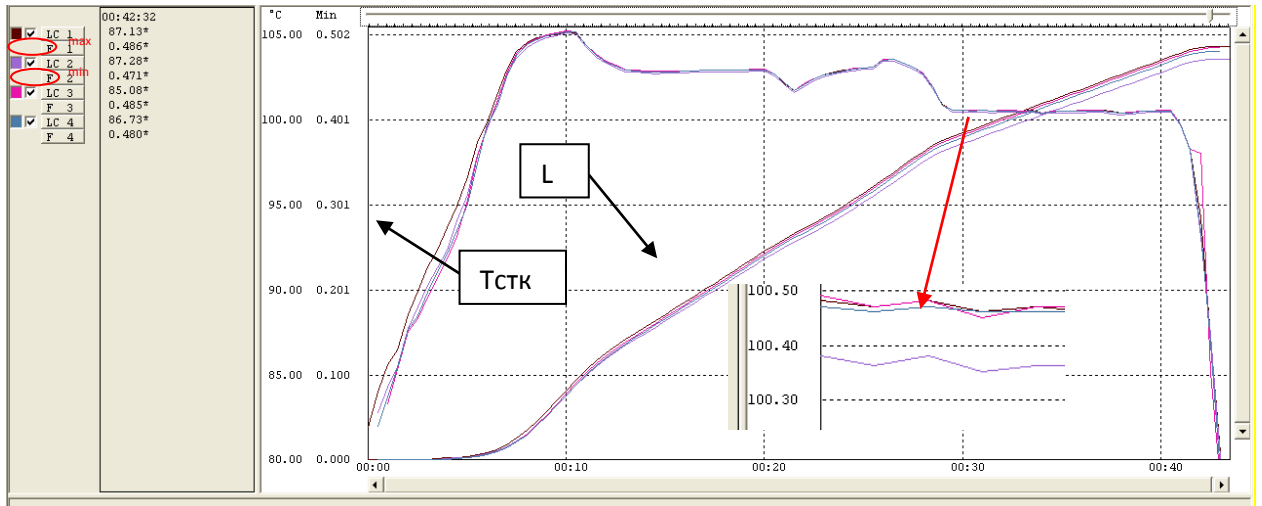


Рисунок 3.14 – Результаты исследования по определению равномерности температурного поля при стерилизации в воде в автоклаве АВК-30М

Отличие температур в различных точках аппарата на этапе нагрева не превышает 1,5 °С, на этапе стерилизации и этапе охлаждения – не превышает 0,2 °С.

F-эффект в разных точках автоклава отличается менее, чем на 1 %. Такие отличия соответствуют равномерному воздействию по всему объему аппарата.

3.3 Исследование режима стерилизации традиционным способом консервов «печень трески натуральная»

Результаты исследований представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Результаты экспериментов по определению формулы стерилизации и расчету F-эффекта консервов «Печень трески натуральная» в банке Impress [30, 32, 47, 55].

Название автоклава	Формула стерилизации	Результаты расчета F-эффекта					
		F _{эсп.1}	F _{эсп.2}	F _{эсп.3}	F _{эсп.4}	F _{эсп.5}	F _{ср}
АВК-30М	$\frac{15 - 58.33 - 20}{115}$	6,44	6,14	7,22	6,92	6,38	6,65
Ascamat-230	$\frac{40 - 50 - 20}{115}$	6,62	7,51	6,00	5,78	7,77	6,7

Анализ данных таблицы 3.2 подтверждают соответствие режимов стерилизации по фактическому стерилизующему для автоклавов АВК-30М и Ascamat-230. Значение F-эффекта на 20 % выше значения требуемой летальности ($F_T^Z = 5,5$ усл. мин.).

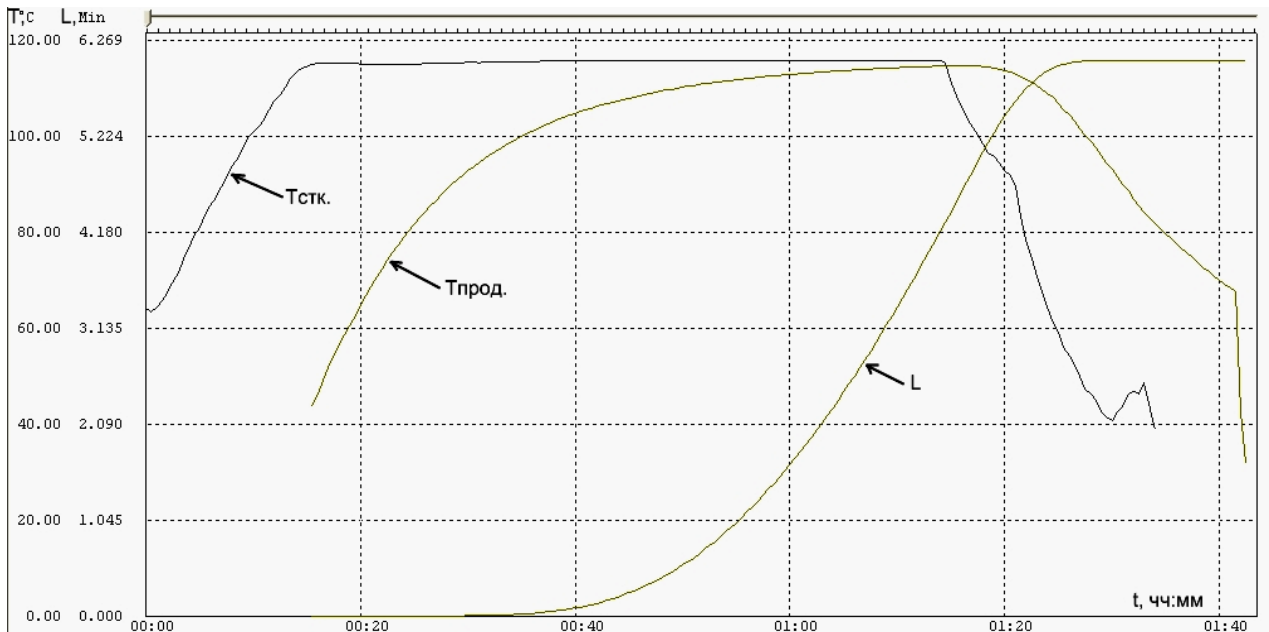


Рисунок 3.15 – Графики температуры процесса стерилизации F-эффекта в банке Impress консервов «Печень трески натуральная» для автоклава АВК-30М.

Данные температуры процесса стерилизации F-эффекта в банке Impress консервов «Печень трески натуральная» (рисунок 3.15) позволяют получить математическое описание тепловых процессов и провести их оптимизацию.

3.4 Идентификация параметров математической модели консервов «печень трески натуральная» в банке Impress

По временным зависимостям нагревания сырья в таре идентифицированы параметры инерционного звена второго порядка:

$$W(p) = \frac{1}{(T_1 \cdot p + 1)^2}, \quad (16)$$

где p – оператор преобразования Лапласа;

T_1 – постоянная времени.

Графики сопоставления результатов экспериментов и численного моделирования температуры таре представлены на рисунках 3.16, 3.17.

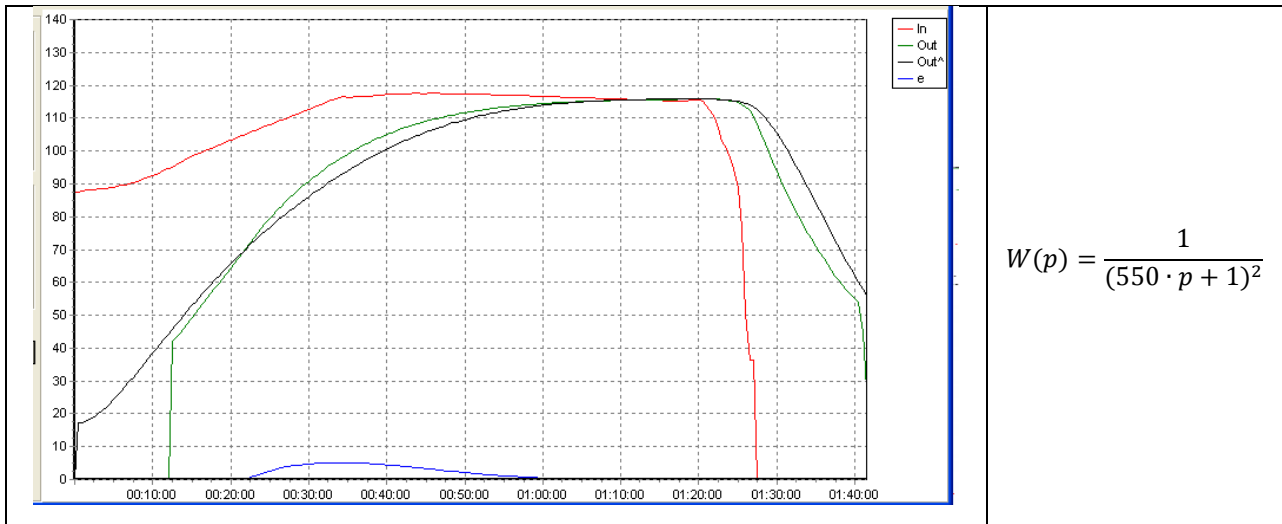


Рисунок 3.16 – Графики температуры при эксперименте и численном моделировании для автоклава Ascamat-230

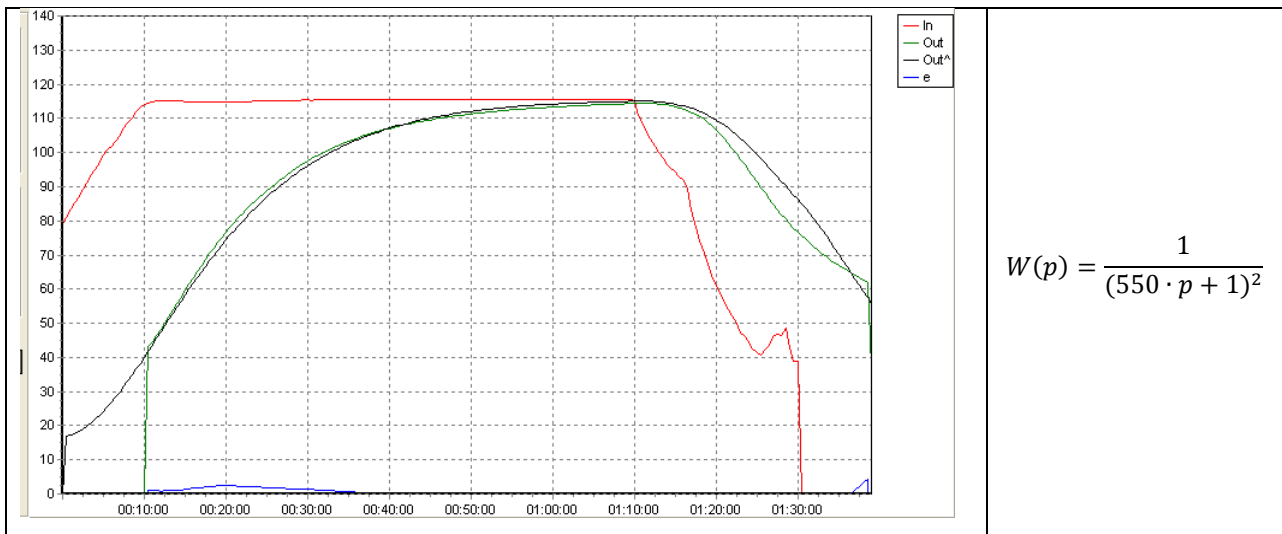


Рисунок 3.17 – Графики температуры при эксперименте и численном моделировании для автоклава АВК-30М

Адекватность математических моделей оценивалась на основании сравнения выходных значений модели и реального процесса и их спектров при одинаковых входных воздействиях. Отклонение экспериментальных данных процессов от результатов численного моделирования менее пяти процентов.

3.5 Исследование способов управления процессом стерилизации консервов

3.5.1 Исследование автоматического управления при традиционном способе стерилизации

Автоматическое управление процессом стерилизации консервов на этапах нагрева и собственно стерилизации представлены в виде структурных схем на рисунках 3.18 и 3.19.

Регулирование температуры осуществляется с применением двух контуров. Температура парогенератора $T_{пг}$ (блок 7, рисунок 3.18) регулируется отдельным контуром, который имеет в своем составе блок ПИ регулятора 3 и парогенератора 4. Температура стерилизационной камеры $T_{стк}$ регулируется контуром, представленным блоками ПИ регулятора 2, регулирующим органом (клапаном) 5, подающим пар от блока 7 в стерилизационную камеру 6. Задание на парогенератор поступает с задатчика с уставкой 130 °С, задание в контур регулирования стерилизационной камеры поступает с задатчика с уставкой 115 °С.

Температура $T_{пг}$ на этапе собственно стерилизации (рисунок 3.19) регулируется в составе подчиненного контура при регулировании температуры $T_{стк}$ так как теплоприток на данном этапе подходит к стерилизационной камере через стенку от парогенератора и компенсирует тепловые потери аппарата.

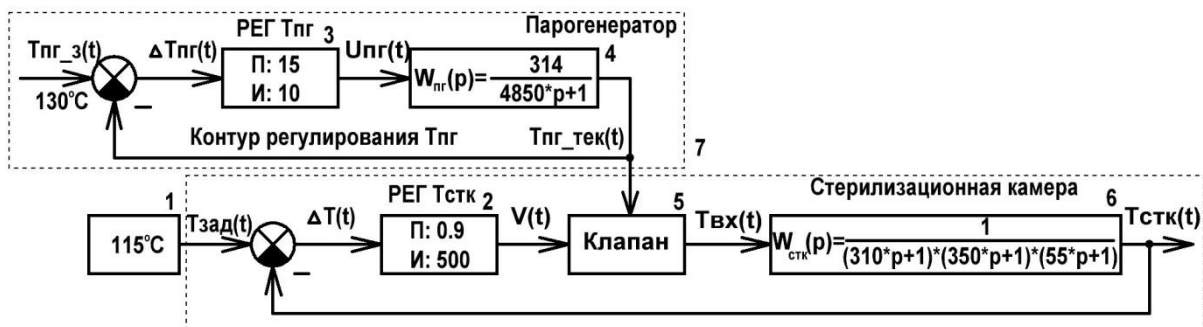


Рисунок 3.18 – Структурная схема контура регулирования температуры в АВК-30М на этапе нагрева

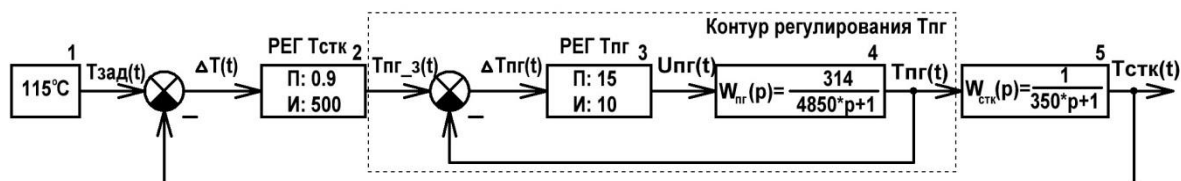


Рисунок 3.19 – Структурная схема контура регулирования температуры в АВК-30М на этапе собственно стерилизации.

3.5.2 Получение оптимальных настроек регуляторов

Контур регулирования температуры в системе автоматического управления автоклава АВК-30М цифровой ПИД-регулятор параллельной структуры реализован в виде рекуррентной формы:

$$U(i) = U(i-1) + a_0 \cdot e(i) + a_1 \cdot e(i-1) + a_2 \cdot e(i-2), \quad (17)$$

где $a_0 = K_p + \frac{T_d}{T_k}$;

$$a_1 = \frac{T_k}{T_i} - K_p - 2 \cdot \frac{T_d}{T_k};$$

$$a_2 = \frac{T_d}{T_k};$$

$$e(i) = Q(i) - Y(i);$$

T_k – шаг квантования;

i – номер шага квантования;

$U(i)$, $U(i-1)$ – управление на i и $i-1$ шаге;

$e(i)$, $e(i-1)$, $e(i-2)$ – рассогласование на i шаге, $i-1$ шаге, $i-2$ шаге;

K_p – коэффициент пропорциональной составляющей;

T_i – постоянная времени интегрирования;

T_d – постоянная времени дифференцирования;

$Q(i)$ – задающее воздействие на i шаге квантования;

$Y(i)$ – регулируемый параметр на i шаге квантования.

Задающее воздействия в соответствии с режимом стерилизации позволяет осуществлять регулирование с применением ПИ-регулятора [69].

Критерием оптимизации коэффициентов регуляторов выбрана интегральная оценка J_5 , позволяющая минимизировать затраты на управление при высоком качестве поддержания регулируемого параметра. Оптимизация выполнена с применением программы Reg_Sost [55, 67] (рисунок 3.20).

$$J_5 = \int_0^t (|e(t)| + k \cdot |U(t)|) \cdot dt \rightarrow \min, \quad (18)$$

где $U(t)$ – величина управляющего воздействия;

k – весовой коэффициент;

$e(t)$ – рассогласование.

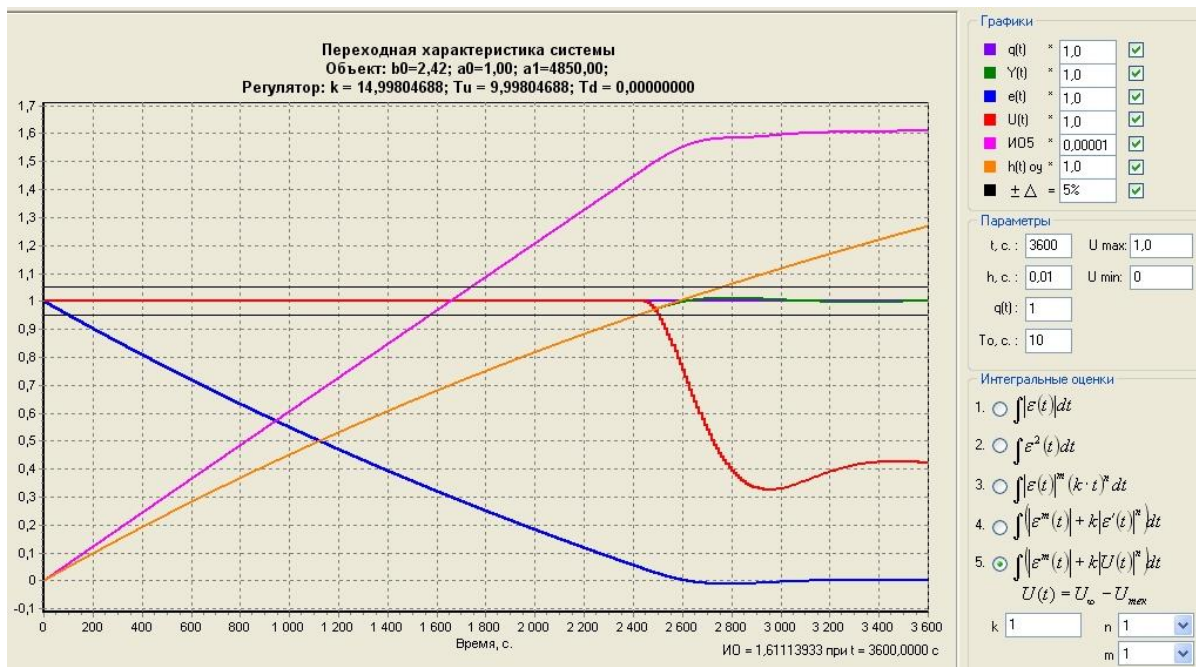


Рисунок 3.20 – Интерфейс программного обеспечения Reg_Sost с результатами оптимальной настройки контура регулирования температуры по интегральной оценке J_5 .

3.5.3 Регулирование давления в системе автоматического управления стерилизационной установкой АВК-30М

Поддержание давления в аппарате осуществляется воздействием системы автоматического управления на клапаны спуска среды из стерилизационной камеры и подачи воздуха в стерилизационную камеру.

Зависимость давления в стерилизационной камере аппарата от температуры получена методом наименьших квадратов на основании экспериментальных данных при работе автоклава Н2-ИТА-602 [55]:

3.5.4 Численное моделирование и эксперименты при традиционном способе управления процессом стерилизации консервов «Печень трески натуральная» в банке Impress в автоклаве АВК-30М

Эксперимент, проведенным в соответствии с утвержденным режимом (таблица 3.2) показал несущественные отличия среднего значения $L_{\text{эксп}}$ по пяти варкам от заданного L_T^Z . (рисунке 3.21).

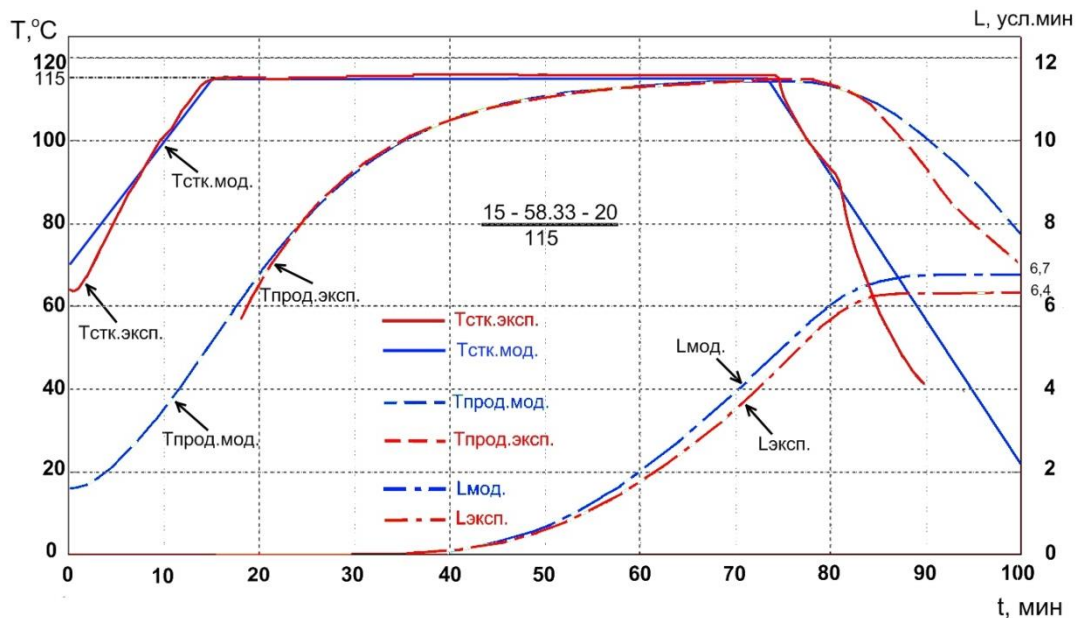


Рисунок 3.21 – Графики численного моделирования и экспериментов температуры и F-эффекта традиционного способа стерилизации.

3.5.5 Численное моделирование при модернизированном способе управления процессом стерилизации

Управление процессом стерилизации по модернизированному способу представлено в виде структурной схемы (рисунок 3.22).

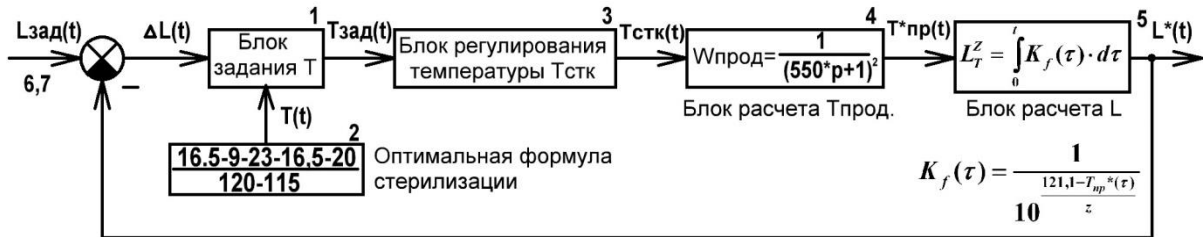


Рисунок 3.22 – Структурная схема контура регулирования F-эффекта в АВК-30М при модернизированном способе стерилизации.

Блок 2 содержит оптимальную формулу стерилизации. Критерием оптимальности является интегральная оценка J [55, 185]:

$$J = \int_0^t (Q(t)) \cdot dt + A_1 \cdot (115 - T_{st,fin})^n + A_2 \cdot (L_{sp} - L_{fin})^m \rightarrow \min, \quad (19)$$

где A_1, A_2 – весовые коэффициенты;

L_{sp}, L_{fin} – заданное значение фактического стерилизующего эффекта и по окончании процесса,

n и m – показатели степени при штафных величинах;

$Q(t)$ – затраты энергии на этапах А, В, D (Рисунок 3.23):

$$Q(t) = Q_A + Q_B + Q_C \quad (20)$$

$$Q_A(t) = G_1 \cdot c_1 \cdot (T_n - T_k) + F \cdot t_a \cdot \lambda \cdot (T_{st} - T_v) + G_2 \cdot c_2 \cdot (T_{n_A} - T_{k_A}) \quad (21)$$

$$Q_B(t) = F \cdot t_b \cdot \lambda \cdot (T_{st} - T_v) + G_2 \cdot c_2 \cdot (T_{n_B} - T_{k_B}) \quad (22)$$

$$Q_D(t) = F \cdot t_d \cdot \lambda \cdot (T_{st} - T_v) \quad (23)$$

где G_1 – масса тела (воды), кг;

c_1 – теплоемкость тела (воды), Дж/(кг·К);

T_n и T_k – начальная и конечная температуры в процессе нагрева соответственно, К;

G_2 – масса тела (консервы), кг;

c_2 – теплоемкость тела (консервы), Дж/(кг·К);

T_{H_A} ; T_{K_A} ; T_{H_B} ; T_{K_B} – начальная и конечная температуры консервов в процессе нагрева соответственно, К;

F – площадь поверхности аппарата, м²;

t – время рассматриваемого участка, с;

T_{st} – температура стенки, К;

T_v – температура воздуха в помещении, К;

λ – суммарный коэффициент теплопроводности при температуре стенки, Вт/(м²·К).

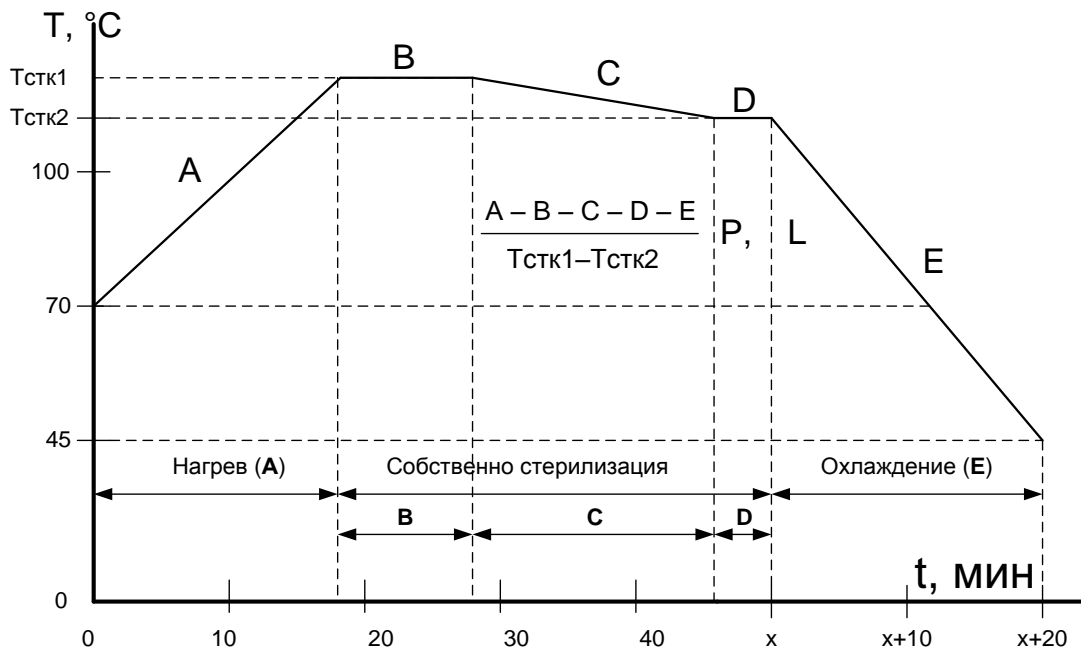


Рисунок 3.23 – Технологический режим при модернизированном способе стерилизации.

Результаты оптимизации формулы стерилизации приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Результаты оптимизации формулы стерилизации для консервов «Печень трески натуральная» в банке Impress для автоклава АВК-30М

Оптимизируемый параметр	Значения результатов оптимизации
Температура в стерилизационной камере $T_{стк1}, ^\circ\text{C}$	119,9
Продолжительность этапа $\tau_B, \text{МИН.}$	9,1
Продолжительность этапа $\tau_D, \text{МИН.}$	16,5

3.5.6 Моделирование и результаты экспериментов модернизированного способа водной стерилизации консервов «Печень трески натуральная» в банке Impress в автоклаве АВК-30М

Моделирование процесса стерилизации консервов при применении модернизированного способа осуществлялось в среде Matlab для разработанного режима стерилизации. Эксперименты (рисунок 3.24) подтвердили адекватность математического описания процесса. Отклонение результатов численного моделирования от результатов эксперимента не превышает 5 % на участках температур более 90 °С. Вычисленное значение F-эффект эквивалентно экспериментальному и заданному для процесса (6,7 усл. мин.).

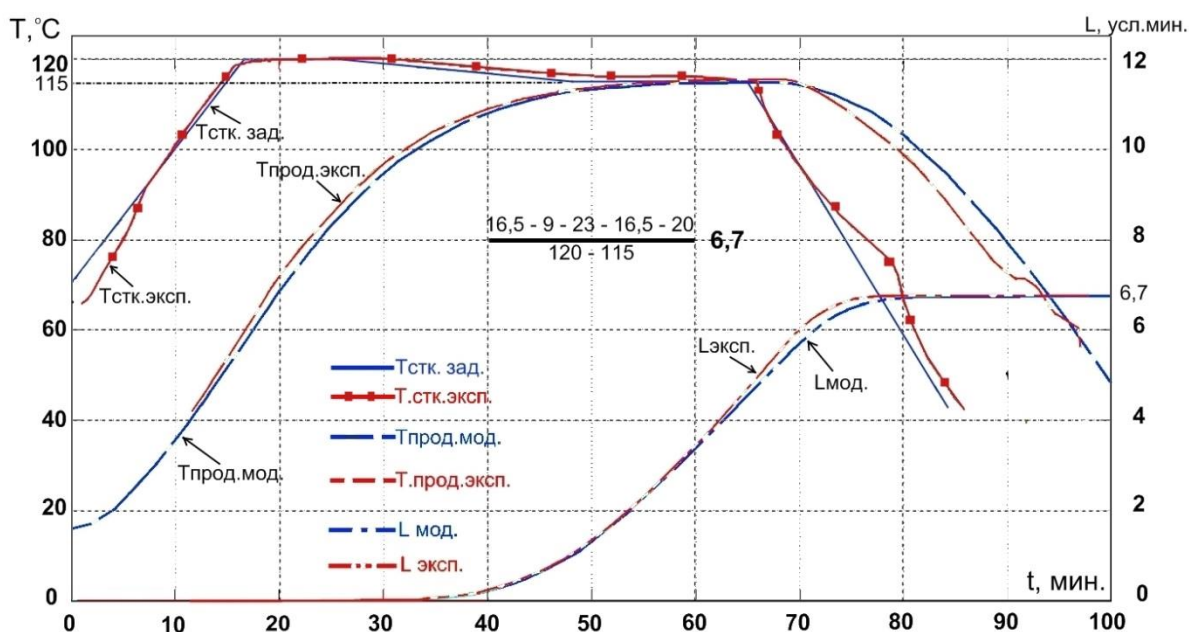


Рисунок 3.24 – Графики численного моделирования температуры и F-эффекта при применении модернизированного способа стерилизации консервов

3.5.7 Сопоставление результатов исследований способов управления стерилизации консервов

Результаты сопоставления результатов численного моделирования обоих способов стерилизации приведено на рисунке 3.25.

Результаты сопоставления показывают уменьшение продолжительности на 8,33 мин (на 8,9 %).

Сопоставление способов стерилизации (таблица 3.4) указывает на сокращение энергопотребления на процесс уменьшилось на 20 % (на 0,69 кВт*ч).

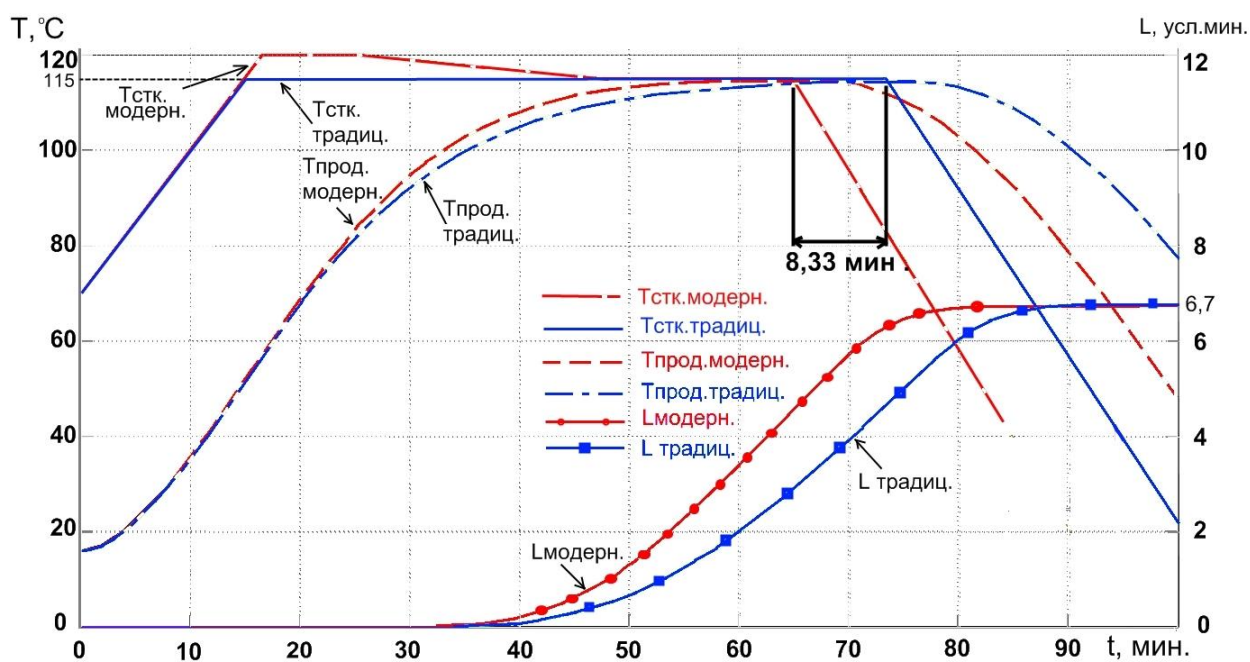


Рисунок 3.25 – Сопоставление результатов исследований способов управления стерилизации консервов

Таблица 3.4 – Сопоставление способов стерилизации консервов по продолжительности процесса и потребляемой энергии.

Способ стерилизации	Продолжительность процесса, мин.	Потребляемая эл/энергия, кВт*ч
Традиционный	93,33	3,48
Модернизированный	85	2,79

3.6 Сопоставление модернизированного и традиционного способов стерилизации

Сопоставление традиционного способа стерилизации консервов с различными вариантами модернизированного способа по затратам энергии на процесс проведено численным моделированием на основе полученных ранее моделей (таблицы 3.5, 3.6). F-эффект всех исследуемых способов стерилизации

консервов составляет 6,7 условных минут, что эквивалентно значению фактической летальности для утвержденного режима стерилизации [170-171].

Таблица 3.5 – Основные параметры традиционных режимов стерилизации

Способ стерилизации	Традиционный	
	<u>15 – 58,33 – 20</u>	<u>16,5 – 36,5 – 20</u>
Формула стерилизации	115	120
T _{прод.макс.} , °C	114,6	117,2
Продолжительность процесса, мин	93,33	73
Интегральная оценка	11250831	10831519
Потребляемая эл/энергия, кВт*ч	3,48	3,35

Таблица 3.6 – Основные параметры модернизированных режимов стерилизации

Способ стерилизации	Модернизированный		
	<u>16,5 – 9 – 23 – 16,5 – 20</u>	<u>17,25 – 46 – 20</u>	<u>16,5 – 11,2 – 38 – 20</u>
Формула стерилизации	120 – 115	122,5 – 112,5	120 – 112
T _{прод.макс.} , °C	114,9	114,9	114,6
Продолжительность процесса, мин	85	83,3	85,7
Интегральная оценка	10073416	8997377	9839140
Потребляемая эл/энергия, кВт*ч	2,79	2,49	2,73
Примечание	-	Параметры В и D в формуле стерилизации и равны 0	Параметр D в формуле стерилизации равен 0

Реализация модернизированного способа стерилизации без ступенчатости (режим 122,5 – 112,5), показала его еще более высокую эффективность для T_{прод.макс.} = 115 °C. T_{стк} в таком режиме превышает 120 °C.

Развитие модернизированного способа стерилизации до переменного режима тепловой обработки позволит обеспечить высококачественное производство консервов, при гарантии микробиологической безопасности и минимальных энергозатратах.

3.7 Разработка режимов стерилизации консервов из гидробионтов с использованием средств вычислительной техники

Решение задачи упрощения процедуры разработки на этапах предварительного подбора и оформления возможно с применением программы для ЭВМ «Проектирование режима стерилизации консервов» (PRSC) (рисунок 3.26). Программное обеспечение PRSC служит для поиска высокоэффективных по потребляемой энергии режимов стерилизации консервов.

Разработчики режимов стерилизации при подборе параметров режимов осуществляют пробные варки консервов в автоклавах. Программа PRSC позволяет уменьшить количество проверочных варок при применении численного моделирования. Работа с программой сводится к введению характеристик автоклава, параметров моделей продукта (рисунок 3.27) и начальных условий. По заданным параметрам режима стерилизации и начальным условиям программой вычисляются значения температур процесса, а также F-эффект.

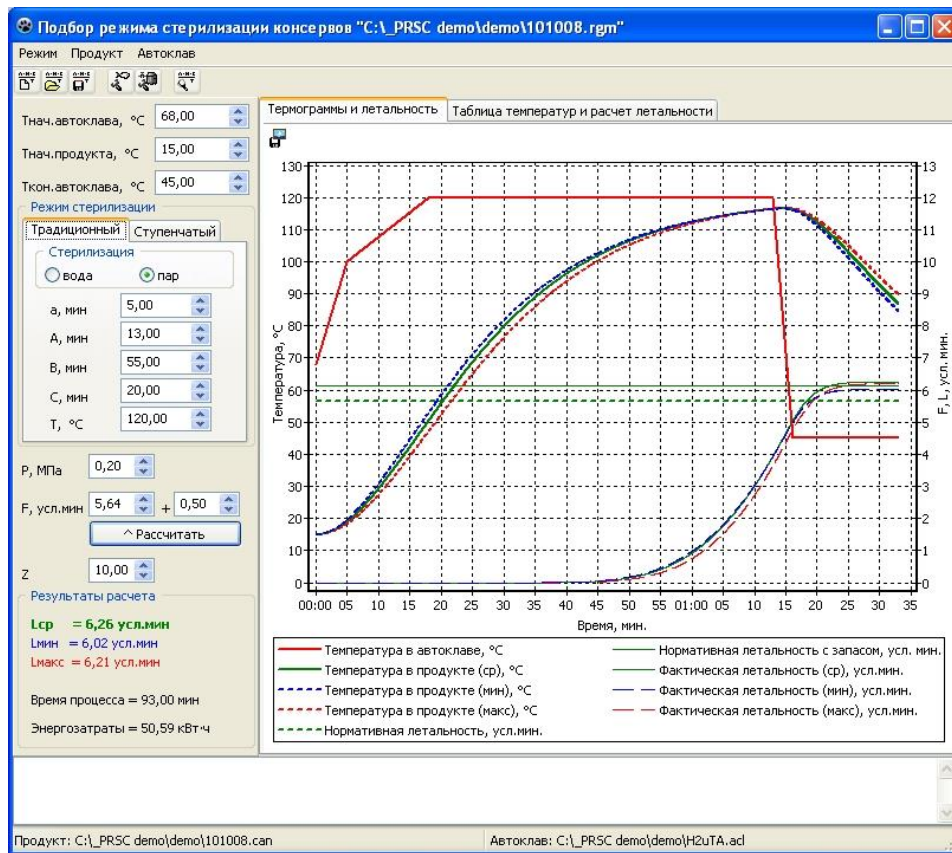


Рисунок 3.26 – Внешний вид программы PRSC

В соответствии с инструкцией (Инструкция, 1996), режим стерилизации должен обеспечивать выполнение условия $L_T^Z \geq F_T^Z$. Программа PRSC позволяет задать запас по F-эффекту.

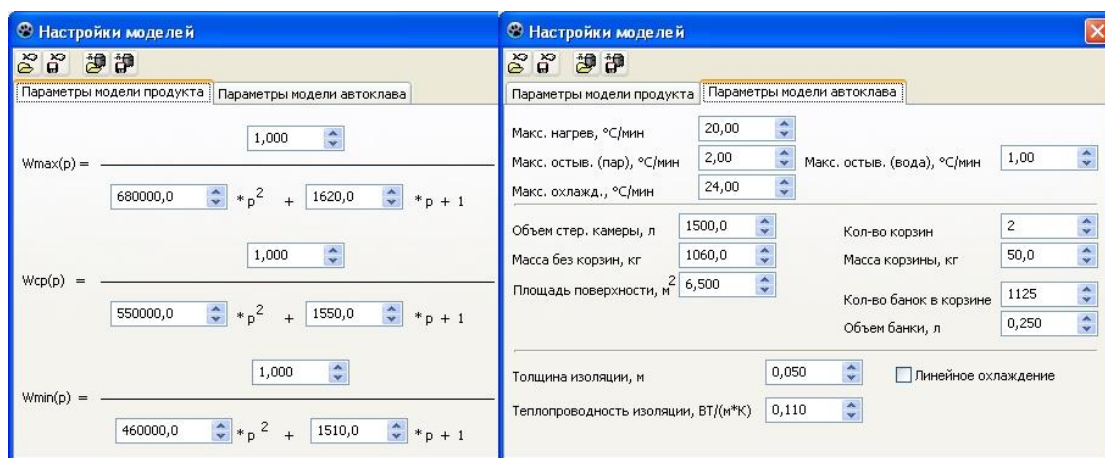


Рисунок 3.27 – Внешний вид окна программы PRSC "Настройки моделей"

Тестовые испытания программного обеспечения PRSC проводились при разработке режима стерилизации, утвержденного с F-эффектом с запасом 35 % (7,4 усл. мин. при требуемом значении 5,5 усл. мин.). Графики численного моделирования тепловых процессов в консервной банке с продуктом имеют отклонение от экспериментальных данных не более 1 °C (рисунок 3.28). Численная модель тепловых процессов, проходящих в автоклаве и банке с продуктом, признана адекватной (рисунок 3.28). В программе PRSC получены параметры режима стерилизации, с F-эффектом равным 7,39 условных минуты.

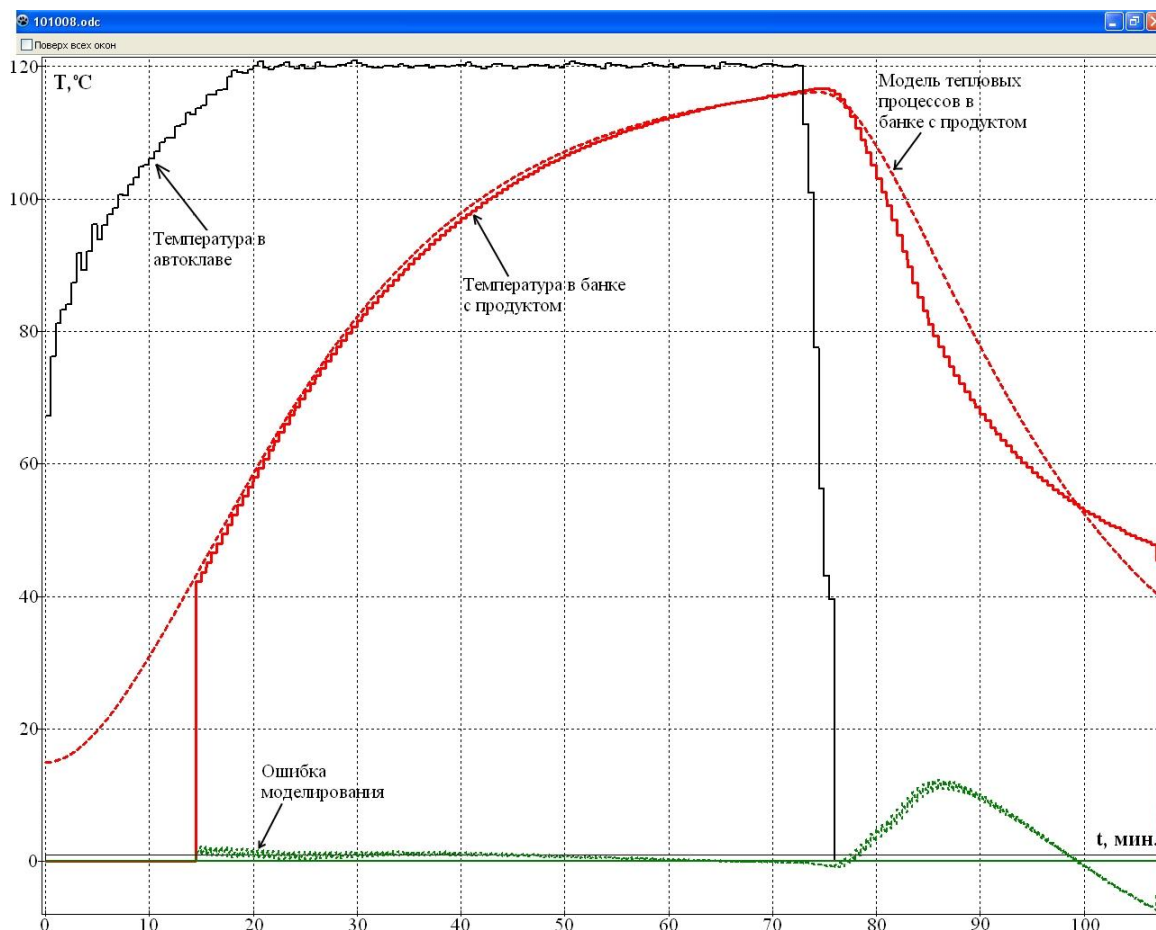


Рисунок 3.28 – Внешний вид окна "Графики процесса".

Применением программы PRSC сокращает количество пробных варок при подборе режима стерилизации путем замены реальных процессов на вычислительные эксперименты. Тестирование программного обеспечения PRSC с подбором режима стерилизации показало, что программа может использоваться для разработки режимов стерилизации консервов.

Выводы по 3 главе

- приведены результаты исследований тепловой обработки пищевых продуктов в автоклавах
- проведено исследование цифровых комплексов регистрации температуры, применяемых при научном обосновании режимов тепловой обработки продуктов питания в автоклавах.

- проведено исследование температурного поля автоклавов ассамат-230 и авк-30м, даны рекомендации по применению автоклавов при разработке режимов тепловой обработки
- проведено исследование режима стерилизации консервов «печень трески натуральная при традиционном способе управления процессом». данные температуры процесса стерилизации F-эффекта в банке impress консервов позволяют получить математическое описание тепловых процессов и провести их оптимизацию.
- проведена идентификация параметров математической модели тепловых процессов в консервах «печень трески натуральная» в банке Impress. верификация полученных математических моделей показала их адекватность. отклонение экспериментальных данных процессов от результатов численного моделирования не превышает пяти процентов.
- проведено исследование модернизированного и традиционного способов управления процессом стерилизации консервов и их сопоставление. реализация модернизированного способа стерилизации показывает высокую энергетическую эффективность.
- проведена разработка режимов стерилизации консервов из гидробионтов с использованием средств вычислительной техники. тестирование программного обеспечения для подбора режима стерилизации показало, что программа может использоваться для разработки режимов стерилизации консервов.

ГЛАВА 4. Практическая реализация результатов исследований тепловой обработки водных биоресурсов арктики в автоклавах

В рамках исследования сотрудниками МГТУ Кайченовым А.В., Масловым А.А., Власовым А.В., Власовой А.Р. разработан комплекс МИСт (Модернизация и инновации в стерилизации) в рамках ГБНИР «Комплексная модернизация систем контроля и управления процессами стерилизации и копчения».

Комплекс МИСт состоит из четырех модулей:

1. МИСт.Автоматика.
2. МИСт.Оптимум.
3. МИСт.Экономайзер.
4. МИСт.Проектирование_режима.

4.1 Модуль МИСТ.АВТОМАТИКА

МИСт.Автоматика – модуль, основой которого является система автоматического управления процессом стерилизации. Базовые элементы такой системы – программные и аппаратные средства автоматизации отечественного производства [13, 19, 55, 56].

Температура греющей среды при проведении процесса на этапе собственно стерилизации должна соответствовать установленным в режиме значениям, при этом на этапе продувки пар должен заместить весь воздух находившийся в аппарате.

Форма зависимости температуры греющей среды на этапах продувки и нагрева не регламентирована. Следовательно, для данных этапов можно математически определить оптимальные по затратам энергии значения коэффициентов ПИ-регулятора.

Описание аппаратно-программного комплекса

Специалистами кафедры автоматики и вычислительной техники реализованы несколько поколений систем автоматического управления

процессом стерилизации в автоклавах в водной и паровой средах [18-20, 24, 38, 55-56, 83, 94, 95, 97, 139-140, 181].

Система автоматического управления на базе сенсорного панельного контроллера с Ethernet СПК107 является самой актуальной версией на сегодняшний день. В качестве модулей ввода-вывода используется программируемое реле ПР200-24.2.2.0, который имеет 4 канала аналогового ввода, который имеет 8 каналов дискретного ввода и 8 релейных канала дискретного вывода.

В качестве тестового объекта управления (ОУ) выступает физическая модель автоклава с реализованным модулем математического моделирования, специально разработанным для тренажёра процесса стерилизации.

В систему управления приходят дискретные сигналы:

- о достижении водой верхнего уровня;
- о соответствии давления в магистрали воды требуемому значению;
- о соответствии давления в магистрали пара требуемому значению;
- о соответствии давления в магистрали воздуха требуемому значению;
- о срабатывании датчика закрытия крышки аппарата.



Рисунок 4.1 – Функциональная схема системы автоматического управления

С системы управления (релейные выходы ПР200-24.2.2.0) уходят 5 дискретных (релейных) сигналов о воздействии на клапаны (рисунок 4.2) подачи охлаждающей воды в камеру (КПВ); спуска из аппарата (КС); слива из аппарата

(КСл); подачи пара в камеру автоклава (КПП); подачи воздуха в аппарат (КПВзд).

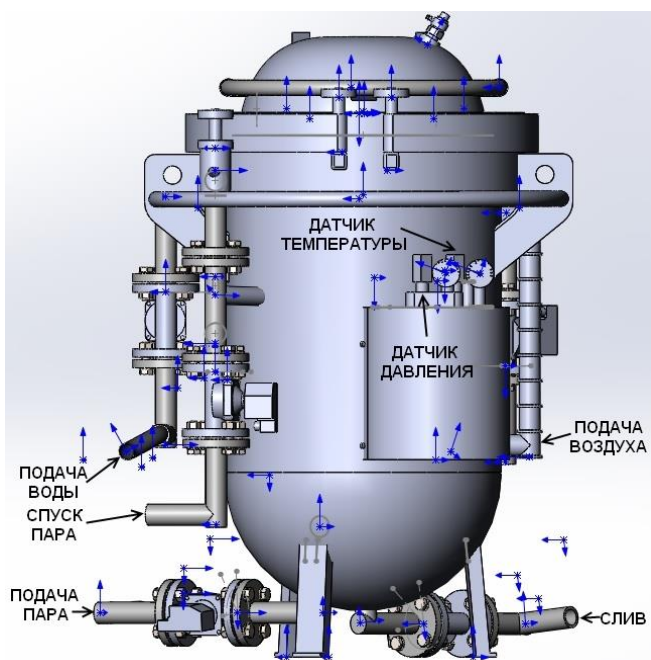


Рисунок 4.2 – 3D-модель автоклава ИТА-602

В систему автоматического управления поступают аналоговые сигналы с датчиков температуры и давления с диапазоном выходного токового сигнала от 4 до 20 мА (аналоговые входы ПР200-24.2.2.0).

Описание комплекса технических средств

Управляющим элементом системы верхнего иерархического уровня является контроллер СПК107. Для подключения пяти дискретных датчиков: наличия верхнего уровня; наличия воды; наличия пара; наличия воздуха; состояния открытия крышки, двух аналоговых (температуры и давления в стерилизационной камере автоклава и пяти исполнительных механизмов: клапана подачи охлаждающей воды; клапана спуска; клапана слива; клапана подачи пара; клапана подачи воздуха) в качестве контроллера нижнего иерархического уровня используется программируемое реле ПР200-24.2.2.0.

Соотношение каналов модулей и передаваемой по ним информации представлено в таблицах 4.1-4.3.

Таблица 4.1 – Аналоговый ввод (AI)

№	Канал	Передаваемое значение
1	AI1	Текущая температуры стерилизационной камеры автоклава
2	AI2	Текущее давление стерилизационной камеры автоклава

Таблица 4.2 – Дискретный вывод

№	Канал	Действие
1	DO1	Воздействие на КПП
2	DO2	Воздействие на КПВ
3	DO3	Воздействие на КПВзд
4	DO4	Воздействие на КС
5	DO5	Воздействие на КСл

Таблица 4.3 – Дискретный ввод

№	Канал	Действие
1	DI1	Состояние датчика верхнего уровня воды в стерилизационной камере автоклава
2	DI2	Состояние датчика наличия воды в магистрали подачи холодной воды
3	DI3	Состояние датчика наличия пара в магистрали подачи пара из парогенератора
4	DI4	Состояние датчика наличия воздуха в магистрали подачи воздуха от компрессора
5	DI5	Состояние датчика открытия крышки автоклава

Модули СПК107, ПР200 получают напряжение 24 Вольта от блока питания БП30Б-Д3 24В.

После запуска программы, написанной в среде разработки «CoDeSys», к сенсорному панельному контроллеру поступают данные о текущих температуре, давлении, а также сигналы о закрытии и открытии клапанов, что позволяет создать требуемые параметры паровоздушной смеси. СПК107 является матером

сети RS-485 и осуществляет обмен с подчиненным устройством (программируемым реле ПР200) по сети RS-485 (MODBUS RTU).

Для обработки принятых от СПК 107 данных в программируемом реле реализован алгоритм обработки упаковки входных сигналов и распаковки, представленный в виде программы в среде Owen Logic (рисунок 4.3).

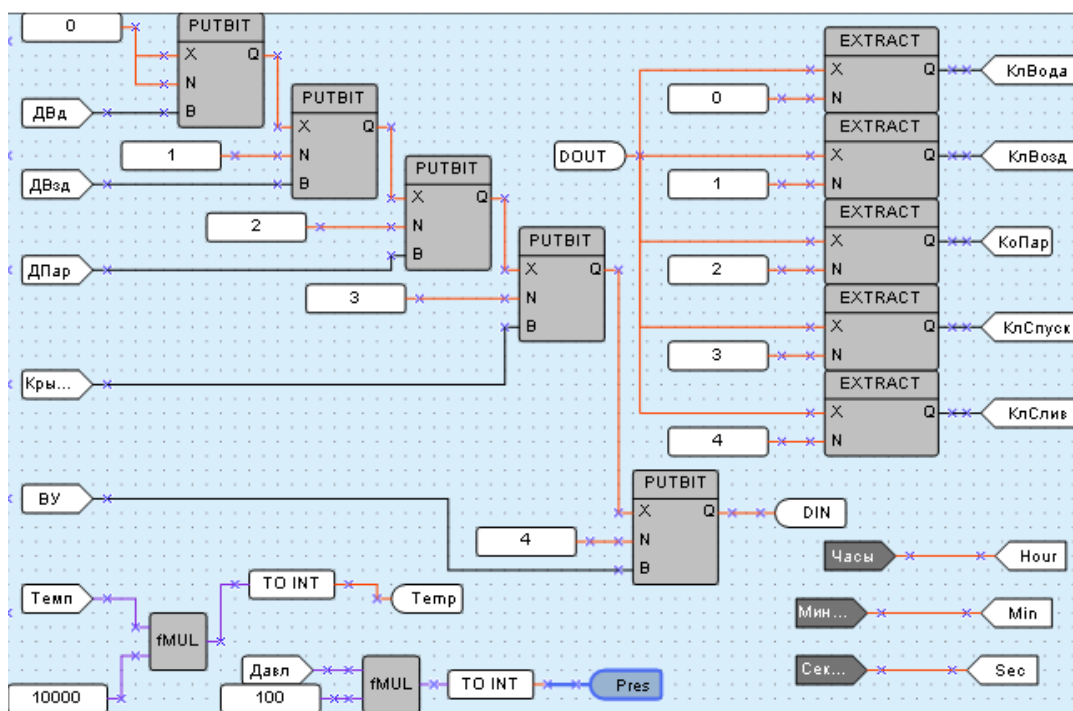


Рисунок 4.3 – Программа в среде Owen Logic для ПР200

Управляющая программа системы МИСТ.АВТОМАТИКА запускается автоматически при включении питания системы. На экране СПК появляется форма оператора «Уровень доступа» (рисунок 4.4).



Рисунок 4.4 – Форма оператора «Уровень доступа»

В случае, если введен неверный пароль оператор попадает на форму «Неверный пароль» (рисунок 4.5)



Рисунок 4.5 – Форма оператора «Неверный пароль»

В случае ввода корректного пароля оператор попадает на форму «Выбор типа стерилизации» (рисунок 4.6).



Рисунок 4.6 – Форма оператора «Выбор типа стерилизации»

В случае входа в систему с выбранным типом пользователя «Оператор», у оператора имеется возможность выбора между двумя типами стерилизации в водной или паровой среде. В случае входа в систему с выбранным типом пользователя «Технолог», «Администратор», «Специалист АСУ», у данных типов пользователей появляется возможность задать настройки системы управления, задать режимы стерилизации и изменить список пользователей.

В случае выбора оператором «Стерилизации в паровой среде» происходит переход на форму «Подготовка к процессу стерилизации в паровой среде» (рисунок 4.7). В случае выбора оператором «Стерилизации в водной среде» происходит переход на форму «Подготовка к процессу стерилизации в водной среде». Эта форма по действиям аналогична форме «Подготовка к процессу стерилизации в паровой среде».

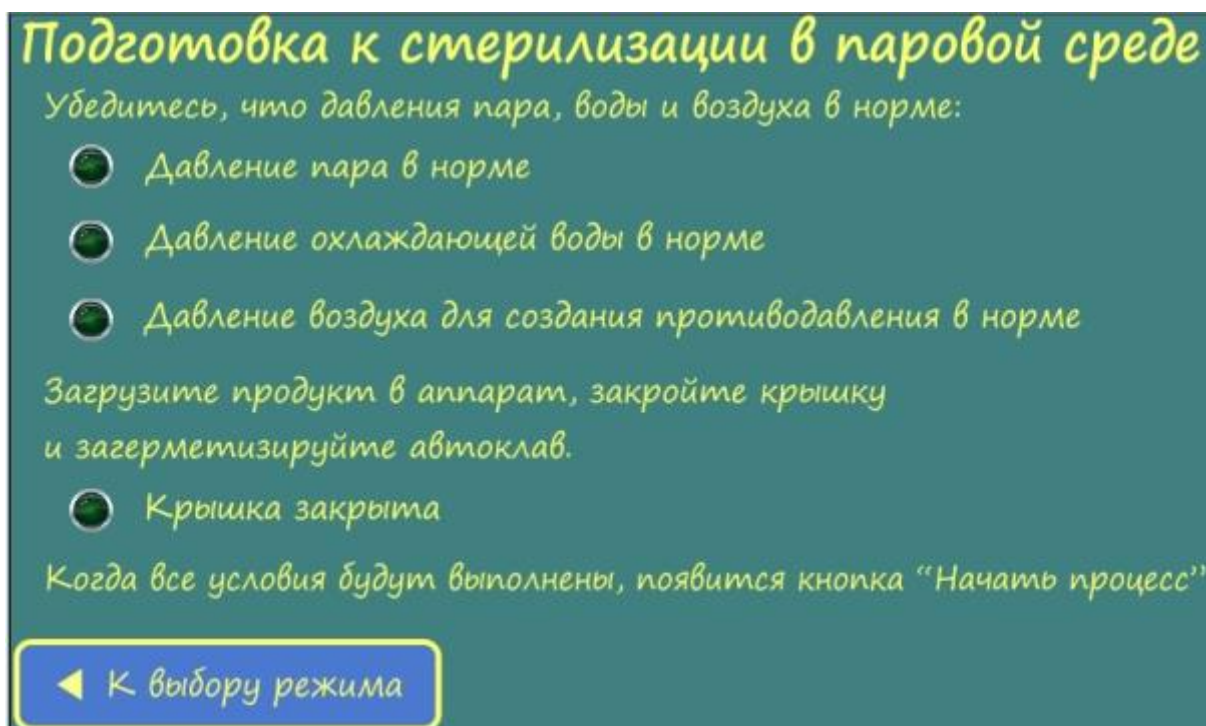


Рисунок 4.7 – Форма оператора «Подготовка к процессу стерилизации в паровой среде»

При выполнении всех условий, описанных в форме оператора «Подготовка к процессу стерилизации в паровой среде», на форме появится кнопка «Начать процесс». Нажатие оператором на эту кнопку запустит работу системы.

На протяжении технологического процесса оператор осуществляет контроль над температурой стерилизационной камеры, отслеживая ее изменение на соответствующей окне панели оператора, а также за срабатыванием клапанов системы управления (рисунок 4.8). В зависимости от выбранного технологом технологического режима система автоматического управления осуществляет регулирование температуры аппарата.



Рисунок 4.8 – Форма оператора «Процесс стерилизации в паровой среде»

В случае нештатной ситуации (снижение давления пара, воды или воздуха), оператор должен приостановить работу системы управления путем нажатия кнопки «Остановка процесса». Оператор должен подтвердить свои действия об остановке процесса на форме «Остановка процесса» (рисунок 4.9).

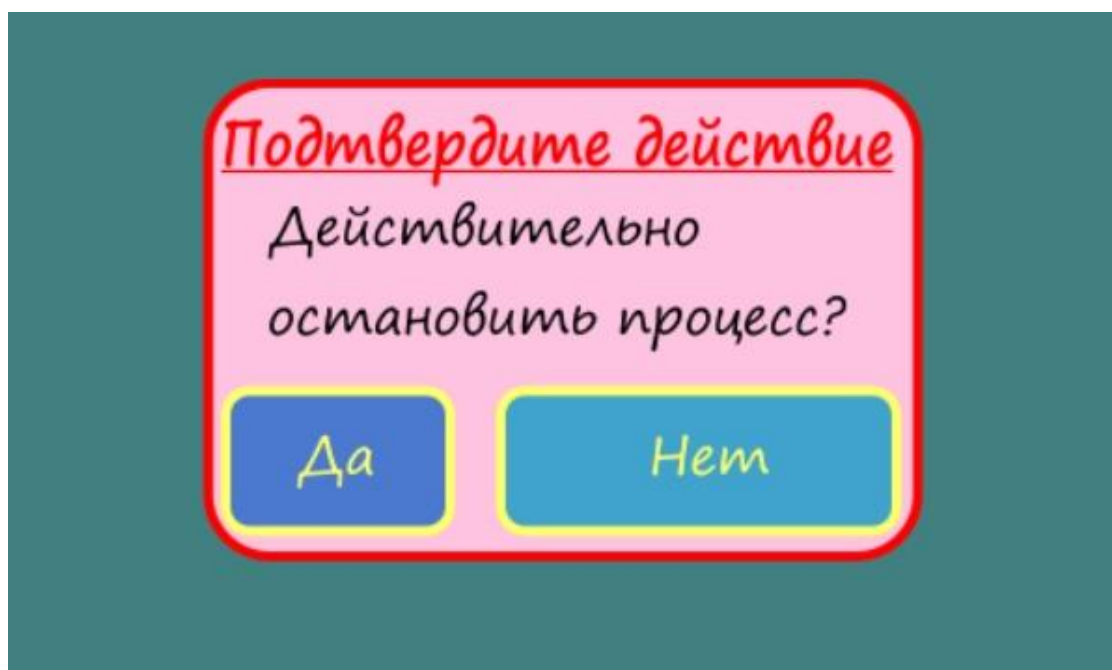


Рисунок 4.9 – Форма оператора «Остановка процесса»

По окончании технологического процесса оператор получит сообщение об окончании процесса стерилизации в виде формы «Стерилизация окончена» (рисунок 4.10).



Рисунок 4.10 – Форма оператора «Стерилизация окончена»

После выполнения действий, указанных в форме оператора, оператор осуществляет нажатие на кнопку «К основному меню». После нажатия на кнопку произойдет переход на форму «Уровень доступа», после чего оператор может осуществить новый процесс стерилизации или обесточить автоклав нажатием кнопки «Стоп».

Для реализации проекта использовалась среда разработки «CoDeSys» версии 3.5.5.

Программируемое реле конфигурировалось с помощью программы «Owen Logic».

Система МИСТ.Автоматика предназначена для мониторинга, диспетчеризации и управления основными контурами автоклава. В частности, система автоматизации реализует следующие функции:

- задание температуры;

- отображение текущей температуры;
- архивирование текущей температуры, заданной температуры, значения управляющего воздействия;
- работать под управлением ОС Linux;
- иметь графический интерфейс пользователя;
- передавать текущую температуру и давление в облачный сервис OwenCloud.

Разработка алгоритмического и программного обеспечения системы контроля процесса стерилизации

Функциональным назначением программы является представление пользователю возможности контроля процесса стерилизации пищевых продуктов в промышленных автоклавах.

Конечными пользователями программы должны являться сотрудники профильных подразделений, работающие в производственных цехах.

Программный продукт обеспечивает выполнение следующих функций:

- непосредственно регулирование процессом стерилизации.
- передача данных об основных характеристиках технологического процесса (температуре) в режиме реального времени;
- запись и архивация данных о динамике изменения температуры.

В зависимости от группы доступа персонала программа позволяет или запрещает задавать коэффициенты регуляторов.

Для работы со системой МИСТ.АВТОМАТИКА требуется один работник с техническим образованием. Перед началом работы необходимо ознакомить сотрудника с сутью технологического процесса, предоставить для прочтения проектную и эксплуатационную документацию, а также ознакомить с интерфейсом и структурой программного обеспечения.

Реализация удаленного управления в системе автоматического контроля процесса стерилизации консервов.

Рассмотрим три основных варианта удаленного управления системой автоматического контроля процесса стерилизации консервов:

- Реализация непосредственного управления и контроля с помощью среды KaScada на базе планшетного компьютера и операционной системы Android 7.0 и WiFi-сети;
- Реализация WEB-визуализации форм оператора системы автоматического контроля процесса стерилизации с помощью сети «Интернет»;
- Реализация автоматического контроля процесса стерилизации с помощью облачного сервиса «OwenCloud» и сети «Интернет».

Варианты реализации удаленного управления в системе автоматического контроля процесса стерилизации консервов представлены на рисунке 4.11.

Реализация непосредственного управления и контроля с помощью среды KaScada на базе планшетного компьютера и операционной системы Android и WiFi-сети

HMI_KaScada – комплекс программно-аппаратных средств для систем управления на базе программируемых реле (ПР) компании ОВЕН и ПО KaScada на базе смартфона/планшета с ОС Андроид. Программной частью комплекса является приложение KaScada ОС Андроид. Аппаратной частью являются платы для ПР200, которые устанавливаются вместо плат сети RS-485 и позволяет расширить коммуникационные возможности программируемого реле.

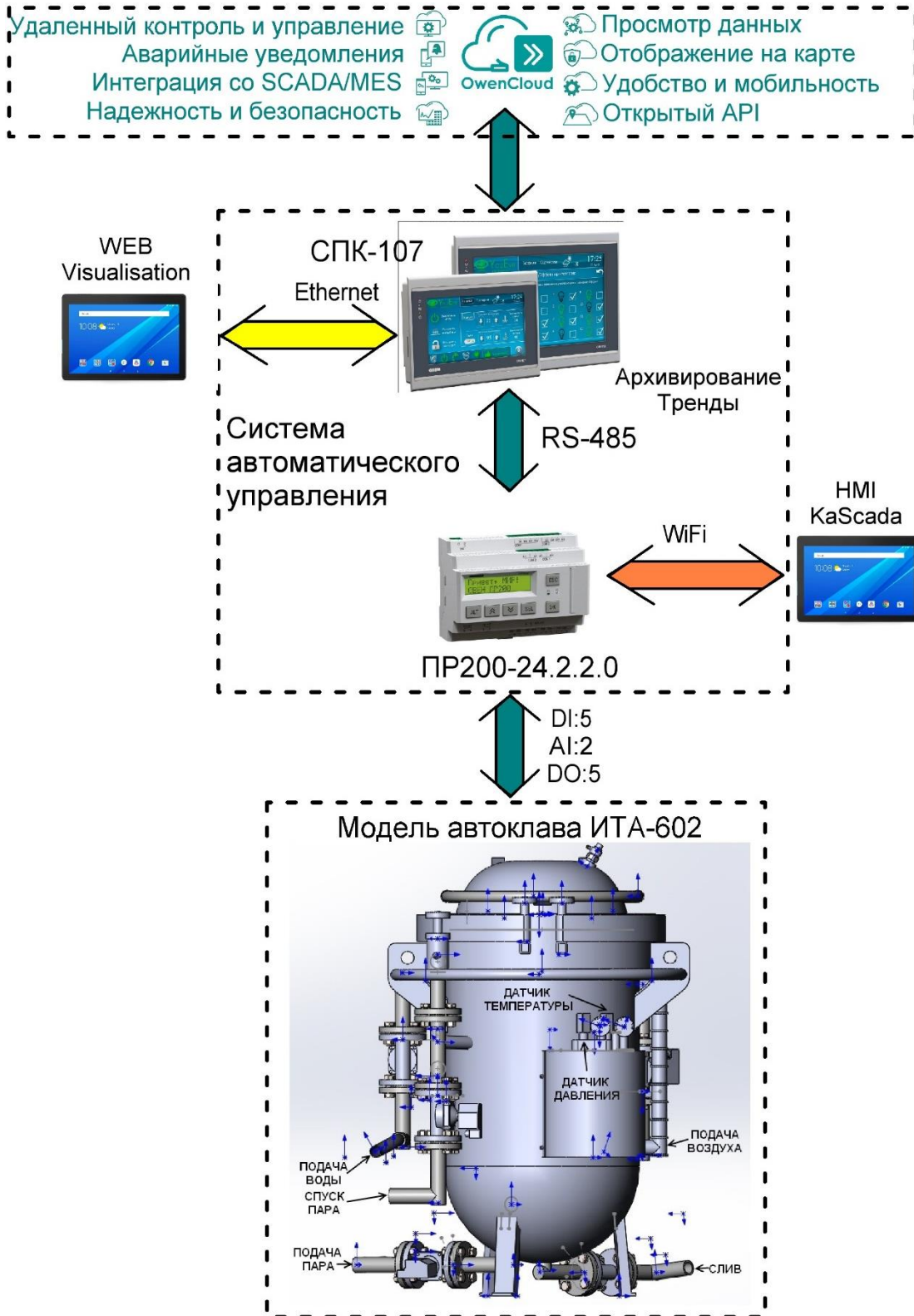


Рисунок 4.11 – Варианты реализации удаленного контроля процесса стерилизации

Экран оператора в ПО KaScada представлен на рисунке 4.12.

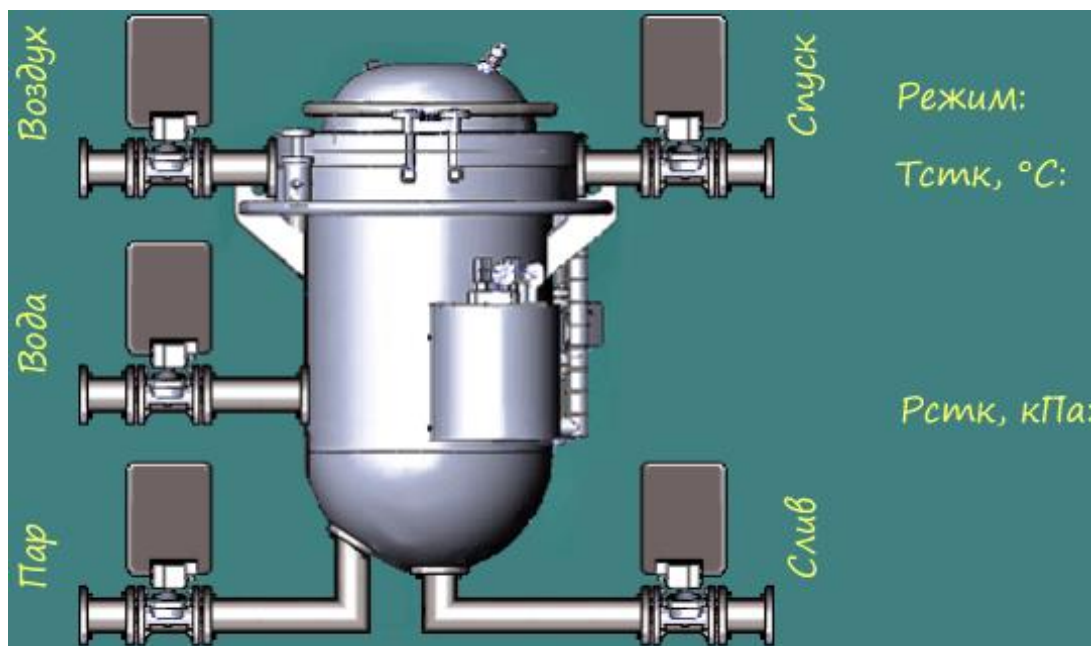


Рисунок 4.12 – Экран оператора в ПО KaScada

4.2 Модуль МИСТ.ОПТИМУМ

Модуль МИСт.Оптимум позволяет минимизировать затраты энергии на выработку партии консервов за счет оптимизации коэффициентов регуляторов системы управления МИСт.Автоматика (рисунок 4.13).

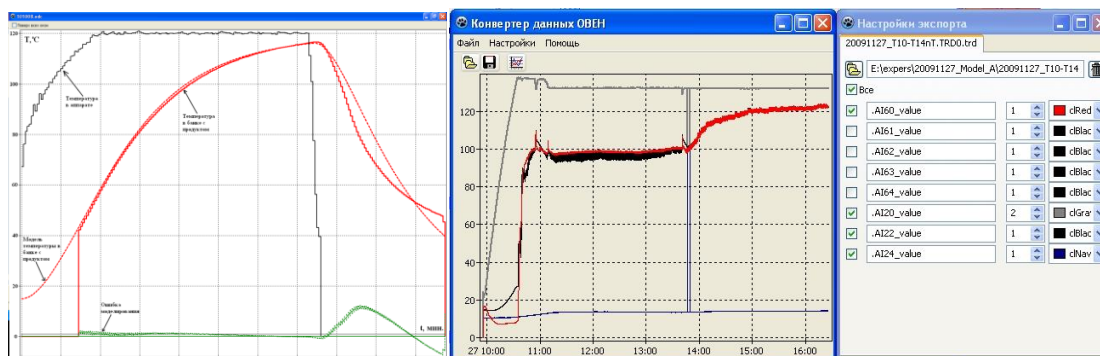


Рисунок 4.13 – Модуль МИСт.Оптимум

Задача оптимизации параметров системы автоматического управления технологического процесса стерилизации является затратной по времени для исследователя [135]. Исследования стерилизационной камеры в качестве объект системы автоматического управления позволяет получить численную математическую модель. На основании адекватной модели стерилизационной камеры возможно получить значения настроек регулятора, оптимальные по

определенному критерию для каждого вида продукции. Такой подход позволит производить консервы высокого качества при микробиологической стерильности.

Поддержание температуры в аппарате является критически важным на этапе стерилизации. При этом на этапах продувки и нагрева можно получить экономию энергии при оптимальных коэффициентах регулятора температуры греющей среды.

Разработка модуля сопряжения программных средств МИСт. Оптим с исследовательским комплексом Ellab

При проведении исследований в МГТУ процесса стерилизации преимущественно используется комплекс Ellab, в основном, по причине отсутствия необходимости в проводах, соединяющих расположенные в аппарате датчики комплекса с измерительным устройством (информация архивируется во встроенную память датчика). После проведения эксперимента датчики Ellab посредством док-станции подключаются к персональному компьютеру.

На компьютере устанавливается программа Ellab ValSuite (рисунок 4.14), которая позволяет воспроизводить в графическом виде зарегистрированные температурные кривые и при помощи которой возможно сохранение данных в цифровом формате. Формат Ellab является закрытым, поэтому с целью последующей обработки опытных данных требуется осуществить конвертирование временных зависимостей в текстовый вид (.dt4) при помощи ValSuite.

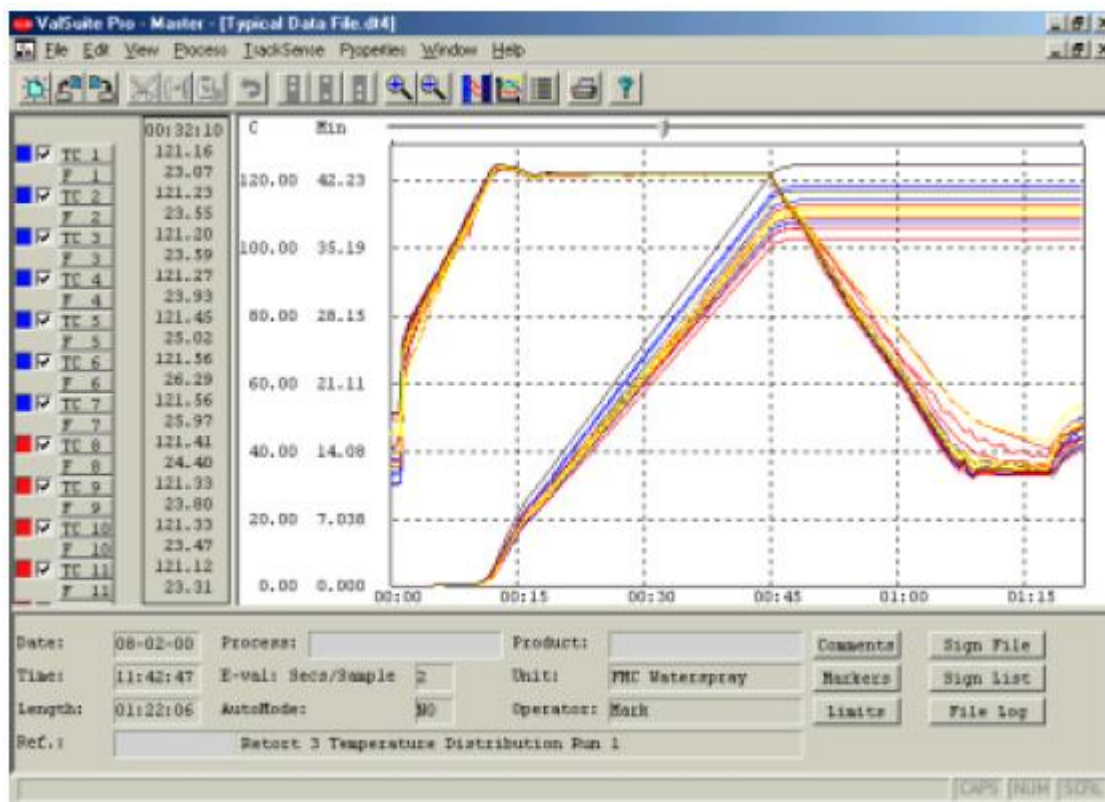


Рисунок 4.14 – Основное окно программы Ellab ValSuite

В результате будет получен файл вида:

"C:_Prsc_Sterilization\Kildin\27-05-11 -2 K.dt4"

"27-05-11"

"12:29:00"

"01:39:00";"00:00:00";"01:39:00"

""

""

"27-05-11 -2 K"

""

"";"LC 1 ";"LC 2 ";"F 2 ";"LC 3 ";"F 3 ";"LC 4 ";"F 4 ";"

"";" ";" ";" ";" ";" ";" ";" ";" ";"

"OFFSET ";" 0,00; 0,00;" ";" 0,00;" ";" 0,00;" "

"CALIB_LC 1 ";" 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00;

"CALIB_LC 2 ";" 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00;

"CALIB_LC 3 ";" 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00;

"CALIB_LC 4 "; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00;

"00:00:00";0089,36;__,__;0-0,342;__,__;0-0,342;__,__;0-0,342;

"00:00:01";0089,36;__,__;0-0,342;__,__;0-0,342;__,__;0-0,342;

"00:00:02";0089,36;__,__;0-0,342;__,__;0-0,342;__,__;0-0,342;

"00:00:03";0089,36;__,__;0-0,342;__,__;0-0,342;__,__;0-0,342;

"00:00:04";0089,36;__,__;0-0,342;__,__;0-0,342;__,__;0-0,342;

"00:00:05";0089,36;__,__;0-0,342;__,__;0-0,342;__,__;0-0,342;

"00:00:06";0089,36;__,__;0-0,342;__,__;0-0,342;__,__;0-0,342;

"00:00:07";0089,36;__,__;0-0,342;__,__;0-0,342;__,__;0-0,342;

"00:00:08";0089,36;__,__;0-0,342;__,__;0-0,342;__,__;0-0,342;

"00:00:09";0089,36;__,__;0-0,342;__,__;0-0,342;__,__;0-0,342;

"00:00:10";0089,36;__,__;0-0,342;__,__;0-0,342;__,__;0-0,342;

"00:00:11";0089,36;__,__;0-0,342;__,__;0-0,342;__,__;0-0,342;

"00:00:12";0089,36;__,__;0-0,342;__,__;0-0,342;__,__;0-0,342;

В приведенном участке файла можно выделить служебную область (первые 16 строк) и собственно данные (остальное). Служебная область содержит полный путь к имени экспортируемого файла на момент работы Ellab ValSuite; дату, время и продолжительность процесса; наименования полей (столбцов) данных и калибровочную информацию (offset, calib).

Исследовательский комплекс Ellab МГТУ содержит в своем составе 4 датчика температуры. Поля их показаний имеют наименование LC1, LC2 и т.д. В ходе проводимых опытов один из датчиков размещается непосредственно в аппарате, а остальные три погружаются в банки с продуктом, размещенные в стерилизационной камере автоклава в соответствии с планом эксперимента. Таким образом, по показаниям указанных трех датчиков комплексом Ellab рассчитывается фактическая летальность, значения которой приводятся в полях, названных F2, F3 и F4 (для LC2, LC3 и LC4 соответственно).

В области данных построчно для каждого отсчета времени приводятся показания температуры, зарегистрированной датчиками комплекса, а также

значений фактической летальности. Эти данные приводятся в каждой строке после значений времени в том же порядке, в котором приводились имена полей.

Значения «___,___» и «0-0,342» представляют собой метки отсутствия информации. Они появляются по причине того, что датчики температуры исследовательского комплекса Ellab настраиваются на включение по температурному порогу. Соответственно, размещенный в стерилизационной камере датчик температуры срабатывает раньше по сравнению с датчиками, размещенными в продукте. Таким образом, отсутствие показаний датчиков, размещенных в продукте, замещается «___,___» в архивном файле, а рассчитанное по этим показаниям значение фактической летальности замещается «0-0,342».

В целом, архивный файл в приведенном выше виде избыточен в смысле объема информации. Сохранение тех же данных в структурированном численном виде уменьшает объем архива по данным эксперимента уменьшится в несколько раз.

Для унификации форматов данных разработана программа «Преобразование архивных данных трендов 3S CoDeSys в структурированный численный вид» (рисунок 4.15) [157]. Ее основное назначение – приведение информации, полученной от различных источников, в формат .odc, с которым может работать моделирующая программа «Построение графиков по данным в формате .odc и моделирование объекта» в составе программно-аппаратного комплекса MIST_Optim [125, 156].

Программа обеспечивает выполнение следующих функций:

- автоматический поиск переменных в теле архивных файлов и формирование многомерной структуры данных;
- автоматическое объединение данных нескольких архивов;
- просмотр выбранных трендов в графическом виде с возможностью изменения параметров отображения;
- сохранение данных (временных зависимостей, имен, цветов и толщин линий трендов) в числовом формате .odc.

Программа имеет два окна. В первом (основном) окне располагаются органы управления (кнопки сохранения, загрузки, меню и т.д.) и выбранные для экспорта тренды, а во втором окне отображаются параметры импортированных данных.

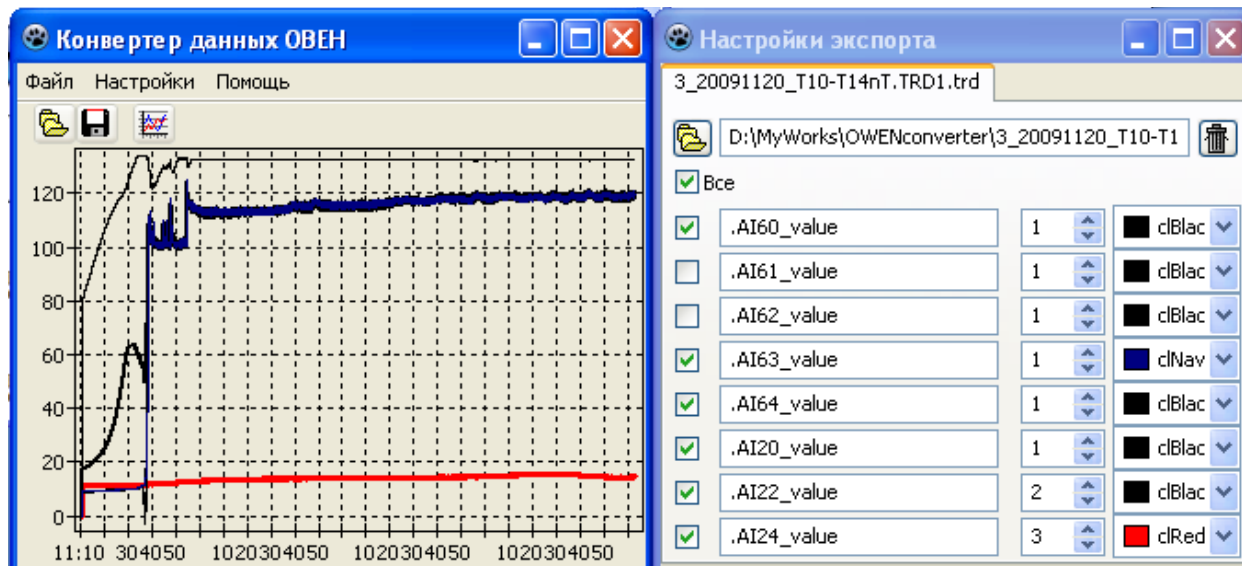


Рисунок 4.15 – Экраны программы «Преобразование архивных данных трендов 3S CoDeSys в структурированный численный вид»

В 2014 году программное обеспечение «Преобразование архивных данных трендов 3S CoDeSys в структурированный численный вид» было модернизировано для работы с файлами в формате .dt4. В результате в исходном файле производится автоматический поиск имен трендов (LC1..LC4 и соответствующие им F), чтение данных из исходного файла во внутренний формат записи для каждого тренда и отображение информации в графическом виде. Ниже представлен формат структур данных, предназначенных для хранения информации, полученной из файла в формате .dt4.

```
TAI = record
Name: string; //имя тренда
LS_series: TLineSeries; //кривая на графике
CB_chk: TCheckBox; //флажок «использовать»
ColB_color:TColorBox; //меню выбора цвета
SE_width: TSpinEdit; //выбор толщины
```



```

E_name: TEdit; //поле ввода имени
OWENData: array of TOWENData; //данные
end;

```

```

TOWENData = record

```

```

  Quant: TDateTime; //время отсчета

```

```

  Data: real; //данные отсчета

```

```

end;

```

После настройки цветов, толщин линий и редактирования имен трендов пользователь имеет возможность осуществить сохранение данных в числовом формате .odc для последующего использования программным обеспечением комплекса MIST_Optim.

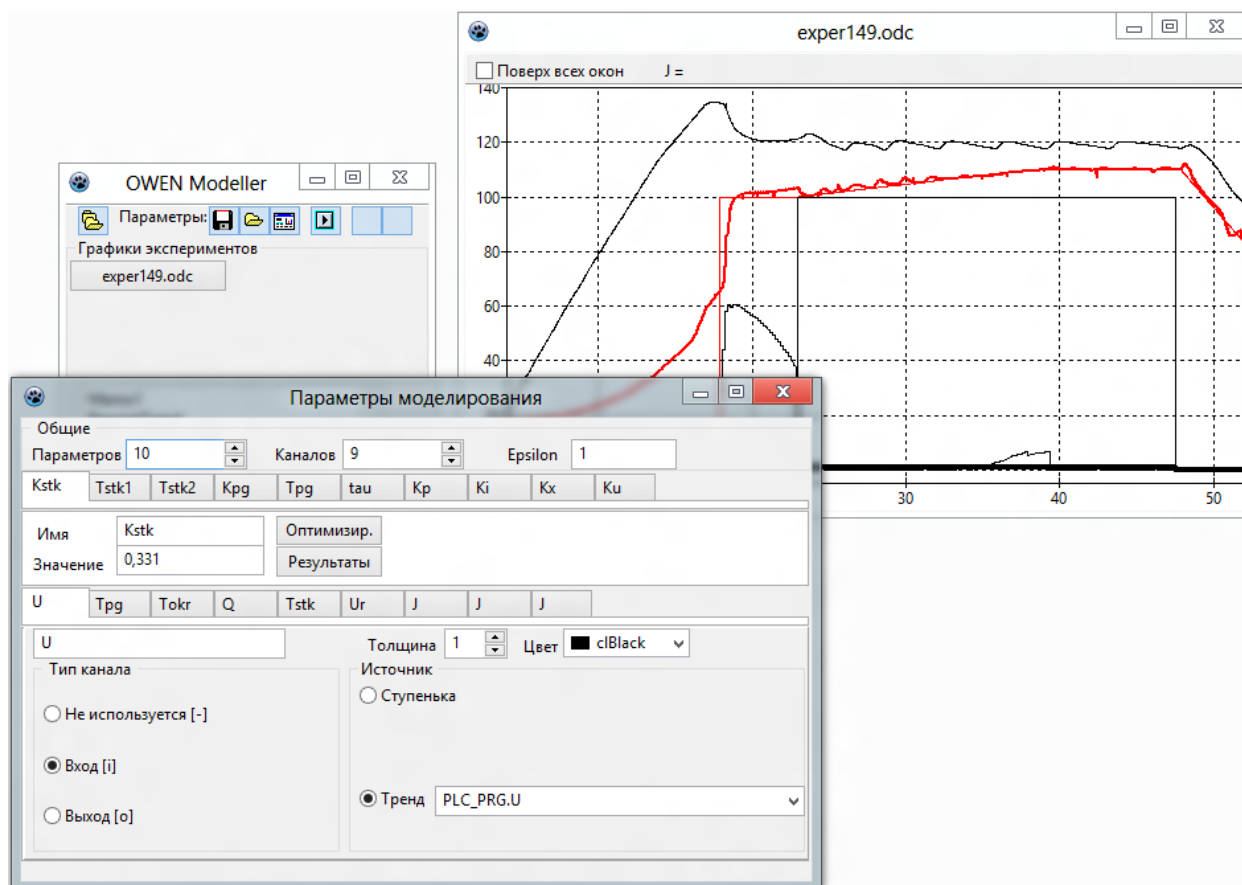


Рисунок 4.16 – Экраны программы "Построение графиков по данным в формате .odc и моделирование объекта"

В настоящей работе программа "Построение графиков по данным в формате .odc и моделирование объекта" (рисунок 4.16) применяется при получении параметров моделей автоклава и стерилизуемой консервной продукции. Указанные параметры используются в программе «PRSC (Проектирование режима стерилизации консервов)».

Таким образом, разработанный модуль сопряжения программных средств MIST_Optim с исследовательским комплексом Ellab позволяет преобразовывать архивные данные экспериментов в структурированный численный вид, что позволяет использовать их для исследования технологического процесса стерилизации с помощью в других программных средств комплекса MIST.

4.3. Модуль МИСТ.ЭКОНОМАЙЗЕР

Модуль МИСт.Экономайзер – программно-аппаратный комплекс, обеспечивающий использование по замкнутому циклу отработавшего тепла по замкнутому циклу [107]. Экономия электрической энергии достигается до 30% , экономия воды – 10%. Преимуществом экономайзера является возможность использования вторичного тепла по замкнутому циклу для установки, изначально не оборудованной подобными техническими решениями (рисунок 4.17).

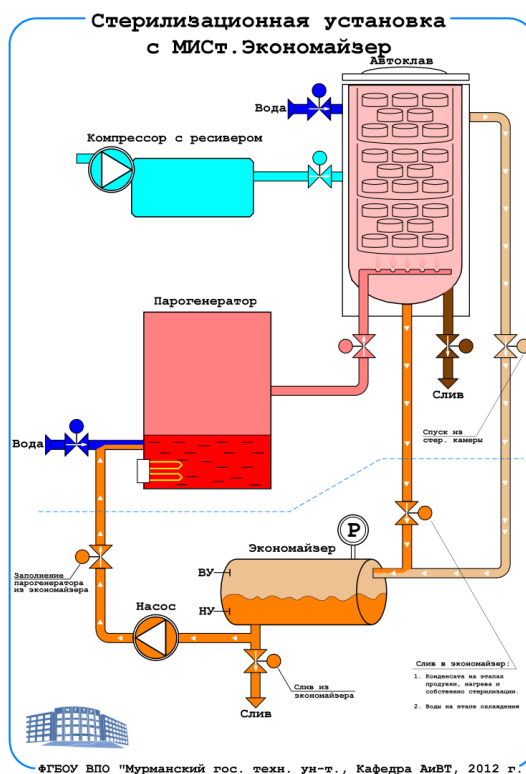


Рисунок 4.17 – Модуль МИСт.Экономайзер

4.4 Модуль МИСт.ПРОЕКТИРОВАНИЕ_РЕЖИМА

Модуль МИСт.Проектирование_режима – это программный комплекс для создания режимов стерилизации для новых видов консервов и корректировании уже разработанных ранее.

Методика обеспечивающая подбор параметров процесса стерилизации в автоматическом режиме

Предлагается следующая методика разработки режима стерилизации. К входным данным расчетов относятся параметры стерилизационной установки и продукта:

- максимальные скорости нагрева, остывания (при паровой или водной стерилизации) и охлаждения для задания граничных условий на скорость изменения температуры в аппарате в соответствии с возможностями стерилизационной установки. Под остыванием понимается убыль температуры в аппарате под воздействием естественного теплообмена с

окружающей средой. Охлаждением называют принудительное снижение температуры в стерилизационной камере за счет подачи в аппарат холодной воды. Данные параметры определяются расчетным методом по документации на стерилизационную установку либо оцениваются по экспериментальным данным, полученным при помощи датчиков температуры измерительного комплекса Ellab в программе Thermal processing modeller;

- объем стерилизационной камеры, ее масса, площадь поверхности автоклава, толщина и теплопроводность теплоизоляции, количество банок в корзине и объем банки, начальная и конечная температуры автоклава, начальная температура продукта – для оценочного расчета энергозатрат на процесс стерилизации. Данные параметры берутся из документации;
- заданное значение фактической летальности F_T^Z (т.е. нормативная летальность) является составной частью критерия, который позволяет оценить микробиологическую эффективность полученного процесса стерилизации. Это значение для заданного вида консервной продукции рассчитывается в соответствии с выражением [7, 55]:

$$F_T^Z = D_T \cdot \left(\lg \frac{C_0 \cdot V \cdot 100}{S} + X \right), \quad (24)$$

где D_T – константа выживаемости микроорганизмов, мин.;

C_0 – начальная концентрация спор на 1 грамм продукта;

V – начальный объем продукта, см³;

S – допустимый бактериологический брак, %;

X – поправочный коэффициент;

- параметры модели продукта для расчета кривой температуры в продукте и значения фактической летальности, получаемого в результате численного эксперимента. В качестве модели прогреваемости продукта предлагается использовать инерционное звено второго порядка:

$$W(p) = \frac{K}{T_2 \cdot p^2 + T_1 \cdot p + 1}, \quad (25)$$

где K – коэффициент передачи;

T_1, T_2 – постоянные времен, с;

p – оператор Лапласа

Значения параметров модели продукта рассчитываются в автоматическом режиме по экспериментальным данным, полученным при помощи датчиков температуры измерительного комплекса Ellab в программе Thermal processing modeller.

Указанные входные данные позволяют рассчитать кривую температуры в банке и по ней определить значение фактической летальности, задавшись продолжительностями и температурами этапов процесса стерилизации.

При разработке режима требуется получить значения параметров режима стерилизации, при которых значение F-эффекта превышает или равен нормативному. Про этом наилучшими с точки зрения материальных затрат должны признаваться процессы, имеющие наименьшие значения продолжительности и энергозатрат. Указанные критерии являются составными частями критерия оптимизации.

Если параметры режима стерилизации менять по некоторому алгоритму оптимизации, например, покоординатного спуска, то в результате будет получен процесс, строго выполняющий требования по микробиологической безопасности и при этом требующий минимальных затрат на стерилизацию.

4.5 Цифровое моделирование и оптимизация процесса стерилизации консервов

4.5.1 Предварительный подбор параметров режима стерилизации консервов "Печень трески по-мурмански" на основе разработанных математических моделей процесса

В результате исследований по методике, обеспечивающей подбор параметров процесса стерилизации в автоматическом режиме проведена пробная варка консервов «Печень трески по-мурмански» в банке Impress в программном обеспечении «Thermal processing modeller» в автоматическом режиме получены передаточные функции на основании трех успешных предварительных варок для модели продукта, представленные на рисунке 4.18.

Параметры модели продукта	Параметры модели автоклава
$W3(p) = \frac{1,000}{312008,6 * p^2 + 1367,3 * p + 1}$	
$W2(p) = \frac{1,000}{440940,8 * p^2 + 1451,2 * p + 1}$	
$W1(p) = \frac{1,000}{427111,9 * p^2 + 1436,0 * p + 1}$	

Рисунок 4.18 – Коэффициенты передаточных функций для модели продукта

В программе PRSC введены параметры модели автоклава, продолжительность этапов нагрева (25), стерилизации (60), охлаждения (20) и температура стерилизации (115) (рисунок 4.19). PRSC автоматически рассчитывает значения $T_{стк}$, $T_{пр}$ и представляет пользователю в графическом или табличном (рисунок 4.20) вариантах.

Значение F_n для данного вида консервов соответствует 4,7 усл. минутам [44, 136]. В программном обеспечении PRSC экспертами в области стерилизации консервов определены параметры режима для консервов «Печень трески по-мурмански» по значению F-эффекта равного 6,5 усл. мин. близкому к F_n с необходимым запасом не менее 20 процентов и автоматически создан на вкладке «Сохранение теплофизических данных» документ в Microsoft Word с теплофизическими данными для утверждения режима (рисунок 4.21).

Тнач.автоклава, °C		Графический вид процесса		Табличный вид процесса		Сохранение теплофизических данных	
80,00		Шаг по времени, мин		5,00		Расчет фактической летальности	
Тнач.продукта, °C		3,00		<input checked="" type="radio"/> По процессу		<input type="radio"/> По таблице	
Ткон.автоклава, °C		22,00		Время, мин		Тавтоклава	
Режим стерилизации		Традиционный		Тбанки1, С		L1, усл. мин.	
Традиционный		Ступенчатый		Тбанки2, С		L2, усл. мин.	
а, мин		5,00		Тбанки3, С		L3, усл. мин.	
<input checked="" type="radio"/> вода		А, мин		25,00			
		В, мин		60,00			
<input type="radio"/> пар		С, мин		20,00			
		Т, °C		115,00			
25,00-60,00-20,00		0,14; 4,70		115,00			
Р, МПа		0,14		Fн, усл.мин		4,70 + 0,50	
		^ Рассчитать		Z		10,00	
L1 = 4,53 усл.мин		L2 = 4,46 усл.мин		L3 = 4,41 усл.мин		Время процесса = 105,00 мин.	
						Энергозатраты = 108,11 кВт·ч	

Рисунок 4.19 – Результаты моделирования в табличном виде

Тнач.автоклава, °C		Графический вид процесса		Табличный вид процесса		Сохранение теплофизических данных	
80,00		Шаг по времени, мин		5,00		Расчет фактической летальности	
Тнач.продукта, °C		5,00		<input checked="" type="radio"/> По процессу		<input type="radio"/> По таблице	
Ткон.автоклава, °C		25,00		Время, мин		Тавтоклава	
Режим стерилизации		Традиционный		Тбанки1, С		L1, усл. мин.	
Традиционный		Ступенчатый		Тбанки2, С		L2, усл. мин.	
а, мин		5,00		Тбанки3, С		L3, усл. мин.	
<input checked="" type="radio"/> вода		А, мин		25,00			
		В, мин		70,00			
<input type="radio"/> пар		С, мин		20,00			
		Т, °C		115,00			
25,00-70,00-20,00		0,14; 4,70		115,00			
Р, МПа		0,14		Fн, усл.мин		4,70 + 0,50	
		^ Рассчитать		Z		10,00	
L1 = 6,64 усл.мин		L2 = 6,55 усл.мин		L3 = 6,47 усл.мин		Время процесса = 115,00 мин.	
						Энергозатраты = 107,64 кВт·ч	

Рисунок 4.20 – Режим стерилизации для получения нормативного стерилизующего эффекта

Данные об изменении температур продукта и греющей среды в процессе стерилизации консервов "Печень трески по-мурмански" в банке 38К (190 г), стерилизованных по режиму $\frac{25-70-20}{115^{\circ}\text{C}}$ 0,14МПа стерилизация и охлаждение водой с противодавлением, в автоклаве "АВК-30М" и расчет $F_{\Sigma} = 4,7$ усл. мин. (расчетный)
Начальная температура продукта в банках перед стерилизацией (2-5) $^{\circ}\text{C}$.

Время, мин	Опыт 1			Опыт 2			Опыт 3			Опыт 4			Опыт 5		
	Температура, $^{\circ}\text{C}$ в авто-клаве /эллаб	Температура, $^{\circ}\text{C}$ в банке	F_1 , усл. мин.	Температура, $^{\circ}\text{C}$ в авто-клаве /эллаб	Температура, $^{\circ}\text{C}$ в банке	F_2 , усл. мин.	Температура, $^{\circ}\text{C}$ в авто-клаве /эллаб	Температура, $^{\circ}\text{C}$ в банке	F_3 , усл. мин.	Температура, $^{\circ}\text{C}$ в авто-клаве /эллаб	Температура, $^{\circ}\text{C}$ в банке	F_4 , усл. мин.	Температура, $^{\circ}\text{C}$ в авто-клаве /эллаб	Температура, $^{\circ}\text{C}$ в банке	F_5 , усл. мин.
0	80	3		80	2		80	4		80	4		80	3	
5	87	9		87	9,7		87	11,8		87	11,5		87	8,9	
10	94	21,5		94	24		94	26,3		94	25,4		94	21,1	
15	101	35,6		101	38,9		101	41,6		101	40,1		101	35,1	
20	108	49,3		108	52,8		108	55,6		108	53,7		108	48,7	
25	115	62,1		115	65,3		115	68,2		115	65,9		115	61,5	
30	115	73,5		115	76,3		115	79,2		115	76,8		115	72,9	
35	115	83,1		115	85,3		115	88,1	0,00	115	85,7		115	82,5	
40	115	90,7	0,00	115	92,4	0,00	115	95	0,01	115	92,7	0,00	115	90,3	0,00
45	115	96,7	0,01	115	97,8	0,02	115	100,2	0,03	115	98,1	0,02	115	96,3	0,01
50	115	101,2	0,05	115	102	0,06	115	104	0,10	115	102,2	0,06	115	100,9	0,04
55	115	104,7	0,13	115	105,1	0,15	115	106,9	0,24	115	105,3	0,16	115	104,4	0,12
60	115	107,3	0,29	115	107,5	0,32	115	109	0,49	115	107,6	0,33	115	107,1	0,27
65	115	109,2	0,55	115	109,3	0,60	115	110,6	0,86	115	109,4	0,61	115	109,1	0,52
70	115	110,7	0,94	115	110,7	0,99	115	111,7	1,37	115	110,8	1,01	115	110,6	0,90
75	115	111,8	1,47	115	111,7	1,51	115	112,6	2,01	115	111,8	1,54	115	111,7	1,41
80	115	112,6	2,11	115	112,5	2,15	115	113,2	2,77	115	112,6	2,18	115	112,5	2,05
85	115	113,2	2,88	115	113,1	2,89	115	113,7	3,63	115	113,2	2,93	115	113,2	2,80
90	115	113,7	3,74	115	113,6	3,74	115	114	4,57	115	113,6	3,78	115	113,6	3,65
95	115	114	4,68	115	113,9	4,66	115	114,3	5,58	115	113,9	4,70	115	114	4,58
100	92	113,6	5,64	92	113,4	5,59	92	113,6	6,58	92	113,4	5,64	92	113,6	5,54
105	68	110,3	6,31	68	109,4	6,19	68	109,4	7,20	68	109,4	6,24	68	110,4	6,21
110	45	103,4	6,53	45	101,5	6,35	45	101,2	7,36	45	101,5	6,40	45	103,6	6,45
115	22	93	6,57	22	90,2	6,38	22	89,3	7,38	22	90,2	6,42	22	93,4	6,48

$F_{\Sigma} = 6,6$ усл. мин.

Рисунок 4.21 – Документ с теплофизическими данными для утверждения режима

4.5.2 Предварительный подбор режима стерилизации консервов "Скумбрия атлантическая натуральная с добавлением масла" на основе разработанных математических моделей процесса

В результате исследований по методике, обеспечивающей подбор параметров процесса стерилизации в автоматическом режиме на основании данных проведенной пробной варки консервов «Скумбрия атлантическая натуральная с добавлением масла» в программном обеспечении «Thermal processing modeller» в автоматическом режиме получены передаточные функции на основании трех успешных предварительных варок для модели продукта, представленные на рисунке 4.22.

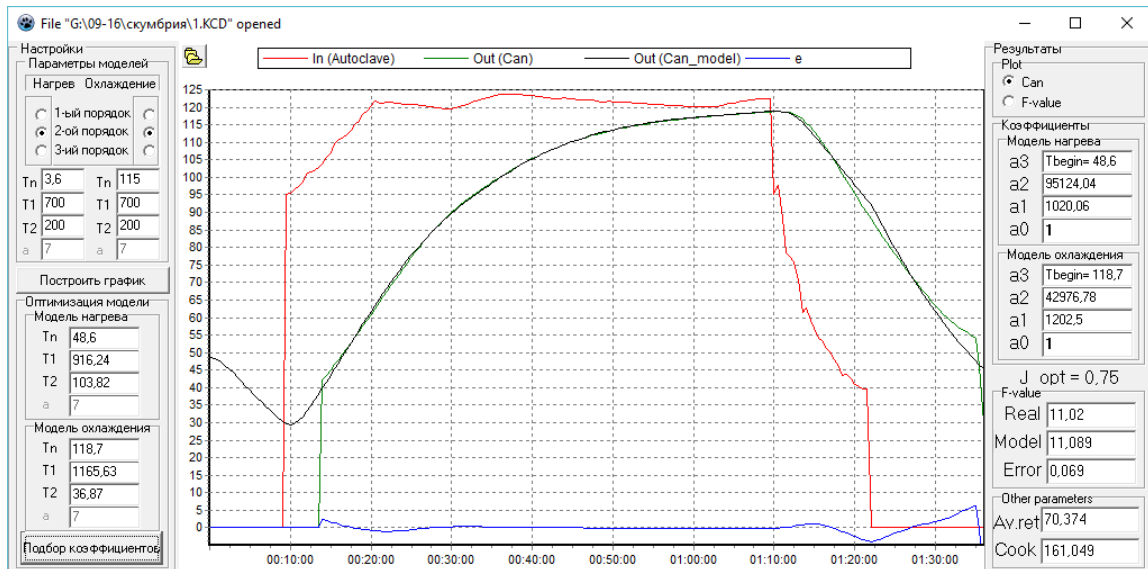


Рисунок 4.22 – Основное окно программы «Modeller»

The screenshot shows the 'Настройки моделей' (Model Settings) window in PRSC, divided into two panes: 'Параметры модели продукта' (Product Model Parameters) and 'Параметры модели автоклава' (Autoclave Model Parameters).

Параметры модели продукта:

- $W_{max}(p) = 1,000$
- $W_{sp}(p) = 95224,0 \cdot p^2 + 1000,1 \cdot p + 1$
- $W_{min}(p) = 1,000$
- $95224,0 \cdot p^2 + 1010,1 \cdot p + 1$

Параметры модели автоклава:

- Макс. нагрев, °C/мин: 20,00
- Макс. оств. (пар), °C/мин: 20,00
- Макс. оств. (вода), °C/мин: 10,00
- Макс. охлад., °C/мин: 10,00
- Объем стер. камеры, л: 1500,0
- Масса без корзин, кг: 1060,0
- Площадь поверхности, м²: 6,500
- Толщина изоляции, м: 0,050
- Теплопроводность изоляции, Вт/(м·K): 0,110
- Кол-во корзин: 2
- Масса корзины, кг: 50,0
- Кол-во банок в корзине: 1125
- Объем банки, л: 0,250
- Линейное охлаждение

Рисунок 4.23 – Вид приложения PRSC с коэффициентами передаточных функций для модели продукта

В программе PRSC введены параметры модели автоклава (рисунок 4.23), продолжительность этапов нагрева (15), стерилизации (45), охлаждения (20) и температура стерилизации (120). PRSC автоматически рассчитывает значения $T_{стк}$, $T_{пр}$ в различных по прогреваемости в трех зонах автоклава.

Значение F_n для данного вида консервов соответствует 5,9 усл. минутам. В программном обеспечении PRSC экспертами в области стерилизации консервов определены параметры режима тепловой обработки консервов «Скумбрия атлантическая натуральная с добавлением масла» по значению F-эффекта

равного 6,93 усл. мин. близкому к F_n с необходимым запасом не менее 20 процентов (рисунок 4.24).

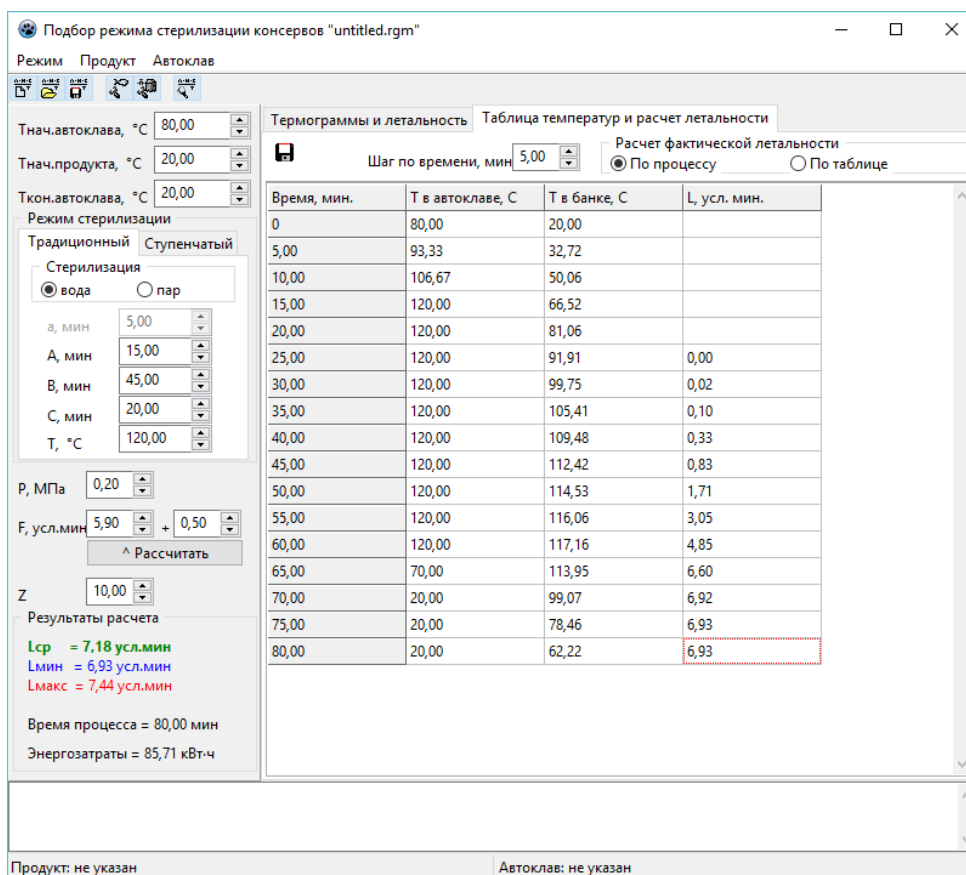


Рисунок 4.24 – Вид приложения PRSC с таблицей температур и расчета летальности

В рамках исследования осуществлялся поиск оптимальных параметров ступенчатого режим стерилизации для консервов «Скумбрия атлантическая натуральная с добавлением масла» при максимальной температуре процесса в аппарате 125 °C (рисунок 4.25).

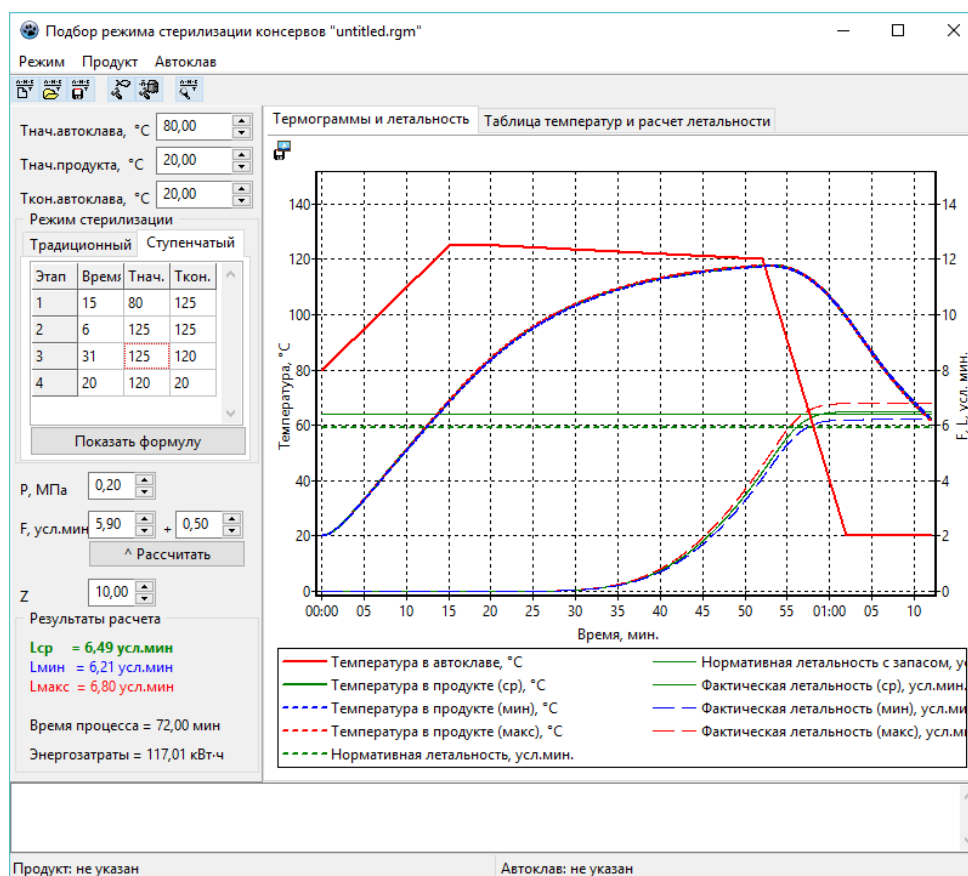


Рисунок 4.25 – Ступенчатый режим для достижения нормативного стерилизующего эффекта

Результаты подобранных предварительных процессов стерилизации консервов с применением численного моделирования приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Результаты подобранных предварительных процессов стерилизации консервов

Способ стерилизации	Традиционный	Ступенчатый
Режим	$\frac{15 - 50 - 20}{120}$	$\frac{15 - 7 - 20}{125} - \frac{31}{120}$
Макс. темп. прод., °C	118,03	117,4
Время процесса, мин	85	72
F-эффект, усл. мин	9,5	6,21

Численное моделирование тепловых процессов при стерилизации (таблица 4.4) значительно упростило предварительный подбор режима. Применение в моделируемом режиме повышенной температуры процесса 125 °C в

стерилизационном аппарате позволило сократить длительность процесса до 10 %.

4.5.3 Методика цифрового моделирования процессов тепловой обработки

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 консервов;
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 $T_{\text{стк}}$, $T_{\text{пр}}$ и F-эффекта в табличном и графическом виде.

Разработанная методика на основании которой разработан программный комплекс МИСТ позволяет провести подбор параметров процесса стерилизации консервной продукции в автоматическом режиме. Комплекс позволяет идентифицировать параметры модели продукта по экспериментальным данным, полученным от исследовательского комплекса Ellab. На основании этих данных в автоматическом режиме разрабатывается процесс стерилизации, обеспечивающий производство продукции с требуемым уровнем

микробиологической безопасности и имеющий минимальную продолжительность.

4.6 Прогнозирование значения F-эффекта при разработке новых режимов тепловой обработки консервов

Форма записи переменного температурного режима реторты для системы автоматического управления автоклавом»

Применение вариабельного режима тепловой обработки продукта требует задания для системы управления автоклавом коэффициентов математической модели (передаточной функции [205]). 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 в наименее прогреваемой области температурного поля стерилизационной камеры автоклава на протяжении всего процесса тепловой обработки консервов. Далее выполняют моделирование процесса с помощью программного комплекса TPM&PRSC. Процесс получения коэффициентов модели описан в статье [205]. 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:

$$W_h(p) = \frac{T_{hm}}{\tau_h^2 \cdot p^2 + 2 \cdot \varepsilon \cdot \tau_h \cdot p + 1}, T_0 \quad (26)$$

$$W_{n_c}(p) = \frac{T_{n_c}}{\tau_c^2 \cdot p^2 + 2 \cdot \varepsilon \cdot \tau_c \cdot p + 1}, T_{hm} \quad (27)$$

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. Поэтому, для описания динамики температуры среды автоклава на этапе охлаждения, следует применить модель интегрирующего звена с инерционностью:

$$W_c(p) = \frac{T_c}{\tau_c \cdot p \cdot (T \cdot p + 1)}, T_{hm} \quad (28)$$

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 рассмотрим на примере получения режима для консервов «Форель в оливковом масле с добавлением маринованного ананаса» в жестяных банках № 2 (масса нетто продукта 170 г.). После проведения серии экспериментальных процессов пастеризации, в программном комплексе TPM&PRSC были подобраны коэффициенты передаточной функции для модели продукта и ТРТО, оптимальный по нормативному F-эффекту (рисунки 4.26 и 4.27, таблица 4.5). В рамках исследования подобраны передаточные функции (26)-(28) для математического описания ВРТО (таблица 4.6), с учетом сохранения значения F-эффекта, полученного для ТРТО.

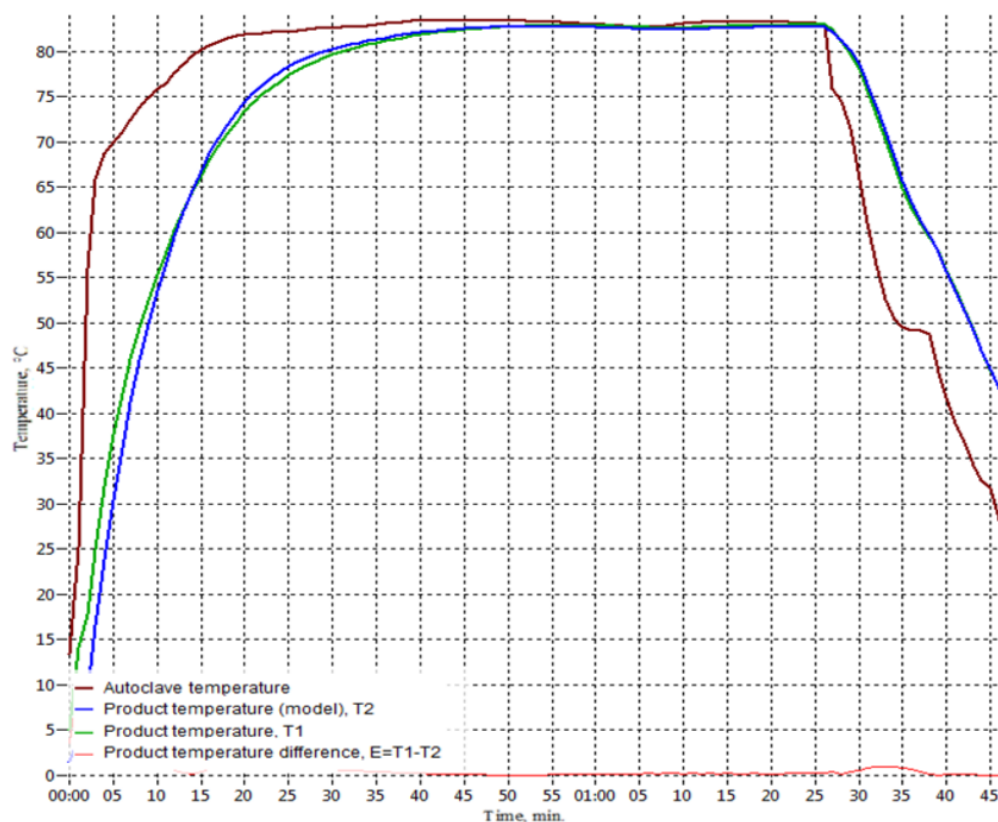


Рисунок 4.26 – Подбор математической модели продукта в программе TRM.

Таблица 4.5 – Коэффициенты модели продукта и оптимальный ТРТО.

Модель продукта, $W_{пр}(p)$	Оптимальный ТРТО
$\frac{1}{420 \cdot p + 1}$	$\frac{25 - 60 - 20}{85^{\circ}C}, 100,0$ усл. мин

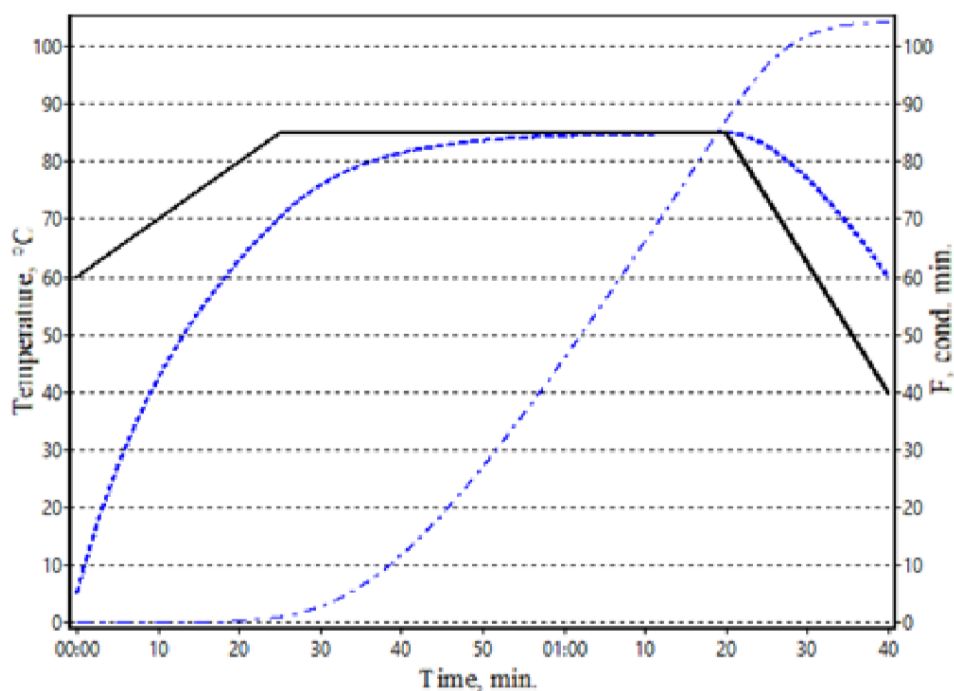


Рисунок 4.27 – ТРТО подобранный в программе PRSC.

Таблица 4.6 – Математическое описание ВРТО.

Этап нагрева, $W_H(p)$	Естественное охлаждение, $W_{e.ox}(p)$	Этап охлаждения, $W_{ox}(p)$
$\frac{85}{72000p^2+900p+1}, 60$	$\frac{85}{28000p^2+600p+1}, 85$	$\frac{40}{31680p^2+360p}, 85$

С использованием полученного из таблицы 4.6 описания ВРТО проведено моделирование режима (рисунок 4.28). Полученные значения фактического F-эффекта, общего времени процессов и энергозатрат для ТРТО и ВРТО сведены в таблицу 4.7.

Таблица 4.7 – Полученные значения для ТРТО и ВРТО.

Таблица 3. Полученные значения для ТРТО и ВРТО.			
	Значение фактического F-эффекта, усл. мин.	Общее время процесса, мин.	Энергозатраты, МДж (для автоклава ASCAMAT-230)
ТРТО	104,3	100	43
ВРТО	107,3	95	42,6

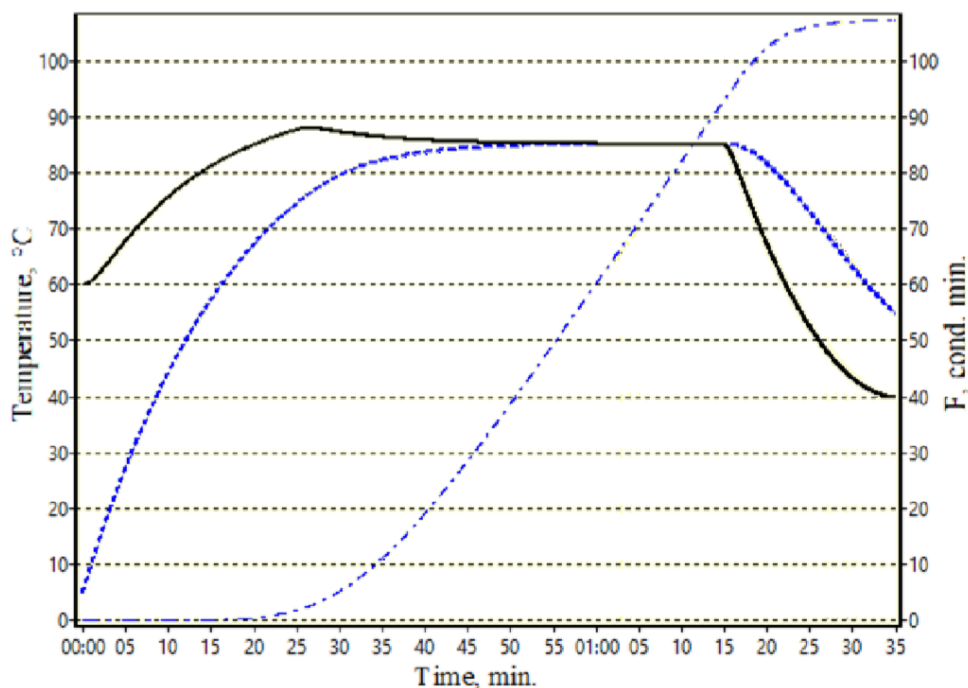


Рисунок 4.28 – ВРТО, моделируемый на основе математического описания.

Применение ВРТО дает следующие преимущества: 1) сокращение общего времени 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) температура продукта в течении всего процесса не превышает температуру непосредственно тепловой обработки, а значит, обеспечивается сохранение качества готового продукта; 3) сокращение энергозатрат (для автоклава АСКМАТ-230 – 0,4 МДж или 1 % по сравнению с ТРТО) при сохранении значения фактического F-эффекта. Сравнивая полученные данные с другими исследованиями, можно сказать, что применение ВРТО не дает значительного сокращения общего времени процесса и энергозатрат по сравнению с ТРТО. Однако 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. В целом, применение ВРТО оправдано на реальном заводе,

если известны математическая модель продукта и динамика температуры среды в стерилизационной камере автоклава для всех этапов ТРТО.

В исследовании предложено математическое описание ВРТО, которое реально описывает динамику среды в стерилизационной камере промышленного автоклава. Получены численная математическая модель продукта и передаточные функции, описывающие желаемую динамику среды стерилизационной камеры промышленного автоклава. Однако применение ВРТО не дает значительных преимуществ по времени процесса и энергозатратам по сравнению с ТРТО. Предложенное математическое описание ВРТО может быть использовано в работе инженера-технолога при совершенствовании существующего или разработке нового режима пастеризации или стерилизации.

4.7 Разработка и применение программного обеспечения расчета фактической летальности процессов тепловой обработки консервированных пищевых продуктов

Программа «Расчет летальности процесса тепловой обработки консервов», которая позволяет задавать произвольные значения (T_0) и (z) при расчете фактической летальности. Программа предназначена для определения коэффициентов летальности, а также величин летального действия нагрева и фактического летального эффекта (F-эффекта) процесса тепловой обработки консервов [124, 238].

Программа «Расчет летальности процесса тепловой обработки консервов» создана в среде разработки Lazarus IDE. Графический интерфейс главного окна программы представлен на рисунке 4.29.

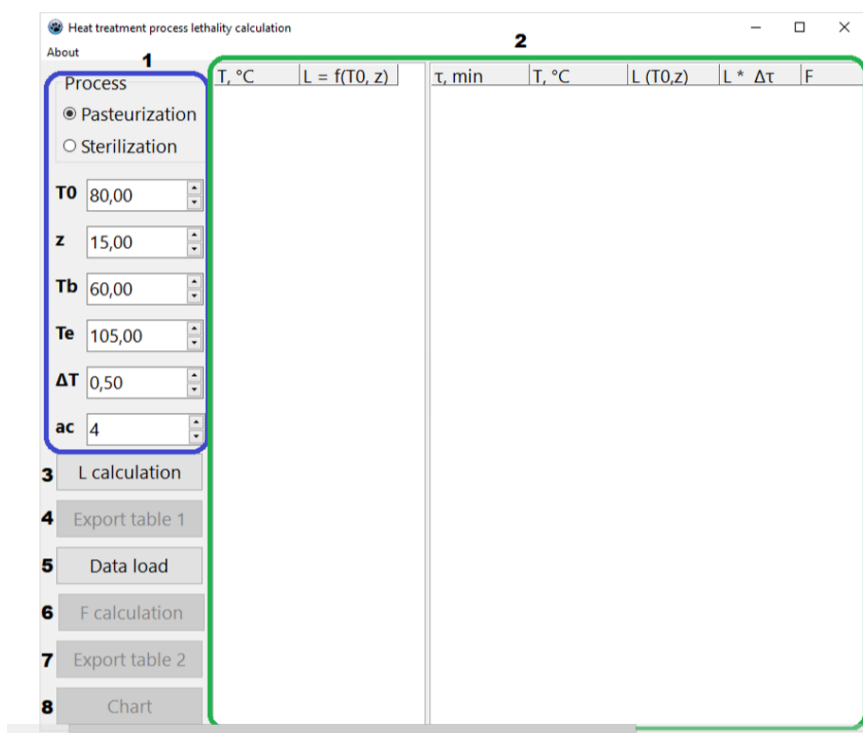


Рисунок 4.29 – Графический интерфейс программы «Расчет летальности процесса тепловой обработки консервов»

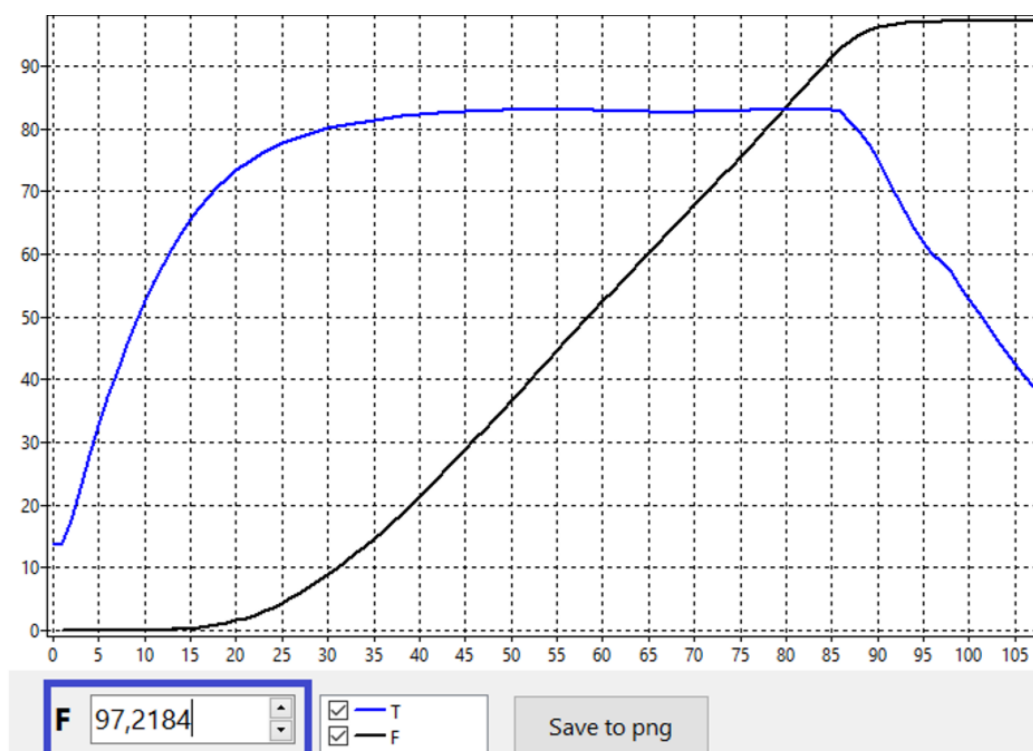


Рисунок 4.30 – Форма отображения графиков.

Программа позволяет выполнять следующие функции:

- задавать произвольные значения характеристики термостойкости (z) тестмикрорганализма и температуры (T_0), принятой в качестве базисной, что необходимо при использовании других тест-культур для определении нормативного эффекта стерилизации, константы термоустойчивости которых не укладываются в справочные величины
- устанавливать интервал и шаг изменения температур, для которых выполняется расчет коэффициентов летальности и величин летального действия нагрева и F-эффекта;
- указывать точность расчета (количество разрядов десятичной дроби);
- выбирать вид процесса («пастеризация» или «стерилизация») для применения стандартных параметров расчета;
- вычислять F-эффект в пересчете на заданную базисную температуру в градусах Цельсия и z - значение устойчивости определенного микроорганизма к нагреву.

В МГТУ создан новый вид консервов «Форель в оливковом масле с добавлением маринованного ананаса» в жестяных банках № 2 (масса нетто продукта 170 г.). Для научного обоснования и оптимизации режима их пастеризации на оборудовании консервного участка учебно-экспериментального цеха университета проведены работы по подбору режима стерилизации пастеризованных консервов с определением фактической летальности режима. С этой целью изготовлены консервы по четырем режимам пастеризации в интервале температурных значений от 80 до 95 °С с одной и той же продолжительностью, равной 60 минут. Фактический стерилизующий эффект (F-эффект) устанавливался путем проведения комплекса теплофизических измерений в процессе стерилизации консервов с последующей математической обработкой полученных результатов по разработанной программе. По разработанной программе рассчитана фактическая летальность (F_f , усл. мин) каждого режима пастеризации с учетом полученного в результате предварительных микробиологических исследований значения константы термоустойчивости $z = 15$ (при базовой температуре 80 °С) и экспериментально

полученных при помощи температурных датчиков системы TrackSense Pro (фирмы Ellab, Дания) данных по изменению температуры продукта в процессе изготовления (таблица 4.8) [124].

Таблица 4.8 – Фактическая летальность пастеризации консервов «Форель в оливковом масле с добавлением маринованного ананаса» в зависимости от параметров процесса [124]

Температура пастеризации, °С			
80	85	90	95
Продолжительность процесса, мин			
60	60	60	60
Фактическая летальность (F_{ϕ}), усл. мин при $z=15$, $T_0 = 80$ °С			
52,8925	99,9815	257,8693	466,9099

Определенный микробиологическими исследованиями нормативный пастеризующий эффект данного вида консервов составил $F_n = 52,921$ условных минут [36, 37]. На основании результатов, полученных с использованием разработанной программы расчета фактической летальности процессов тепловой обработки консервированных пищевых продуктов (рисунок 4.31, 4.32), были выбраны условия пастеризации, наиболее удовлетворяющие неравенству $F_{\phi} \geq F_n$, фактическая летальность при которых составила практически 100,0 усл. минут. Таким образом, установлена продолжительность пастеризации данного вида консервов при температуре 85 °С – 60 минут, а, следовательно, определен эффективный режим пастеризации и охлаждения водой в вертикальных автоклавах периодического действия консервов «Форель в оливковом масле с добавлением маринованного ананаса», расфасованных в жестяные банки № 2:

$$\frac{15-60-20}{85}, F_{\phi} = 100 \text{ усл. мин.} \quad (29)$$

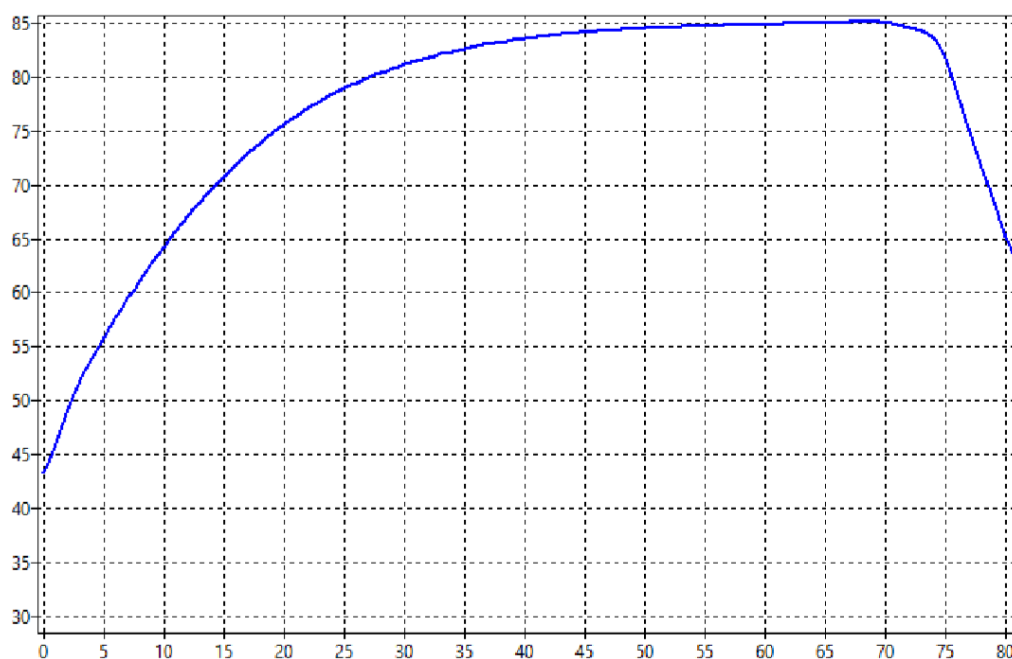


Рисунок 4.31 – Температурная динамика эффективного режима пастеризации консервов «Форель в оливковом масле с добавлением маринованного ананаса».

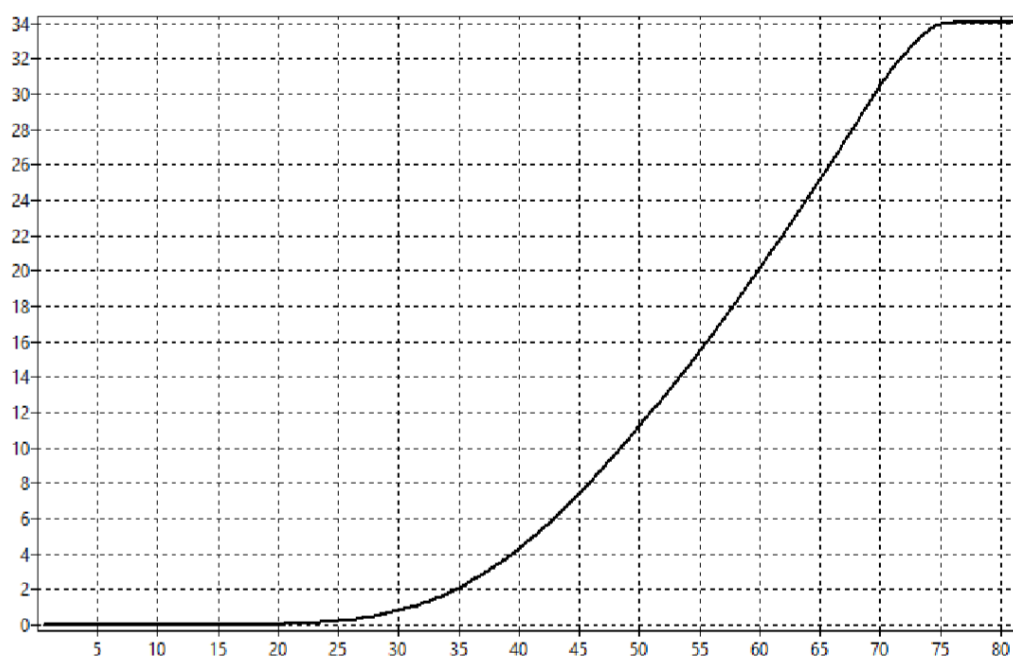


Рисунок 4.32 – Динамика F-эффекта эффективного режима пастеризации консервов «Форель в оливковом масле с добавлением маринованного ананаса».

Программа «Расчет летальности процесса тепловой обработки консервов» может применяться в качестве прикладного инструмента при проведении исследований по разработке и научному обоснованию режимов тепловой

обработки (стерилизации и пастеризации) продуктов, а также на производстве – для контроля указанного технологического процесса.

4.8 «Цифровая сертификация» режимов стерилизации консервной продукции с применением цифровых двойников

При разработке новых режимов стерилизации консервов для автоклавов типа ASCAMAT 230, используемых на судах холдинга NOREBO (ранее группа компаний ФЭСТ [34]) возникают сложности в доступе на рыбофабрику. Для упрощения процедуры разработки режимов предложен метод 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 (рисунок 4.33). На основании полученных данных проведена модернизация системы автоматического управления исследовательского автоклава АВК-30М.

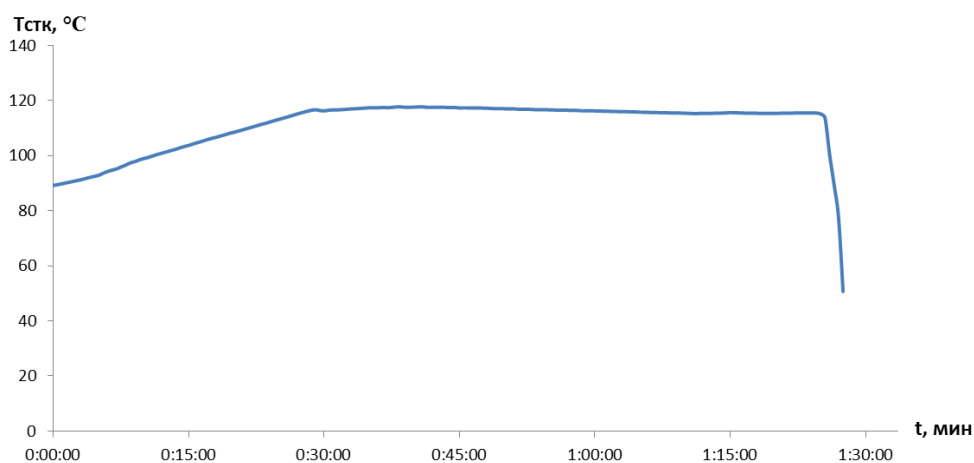
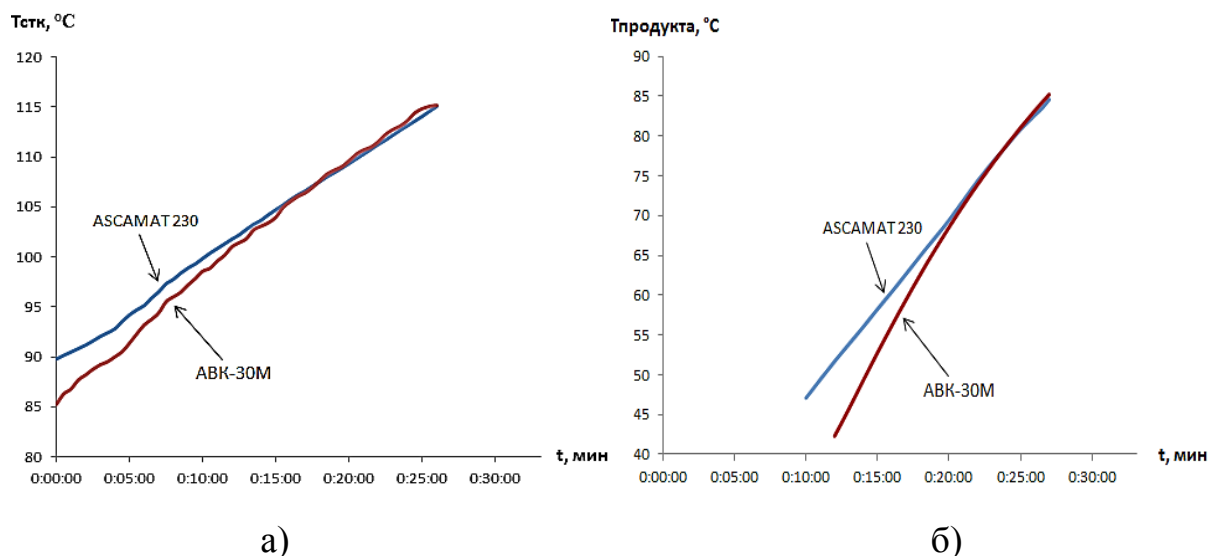


Рисунок 4.33 – График изменения температуры в автоклаве АСКМАТ 230

При работе модернизированной системы управления этап нагрева проходит с незначительными по температуре в аппарате отклонениями одного автоклава от другого (рисунок 4.34,а). Температура обрабатываемого сырья в

тары отличается для двух автоклавов менее 1% при минимальном влиянии отклонения температуры на конечное значение F-эффекта (рисунок 4.34,б).



а) температура стерилизационных камер; б) температура продукта внутри тары

Рисунок 4.34 – График этапа нагрева ASCAMAT 230 и АВК-30М

Система управления АВК-30М в самом начале этапа охлаждения обеспечивает высокую сходимость графиков температур (рисунок 4.35). Несмотря на отличия в завершающей части этапа охлаждения, (рисунок 4.36,а) значения F-эффекта в автоклавах отличаются не более 0,2 условных минуты (1–3 %) (рисунок 4.36,б).

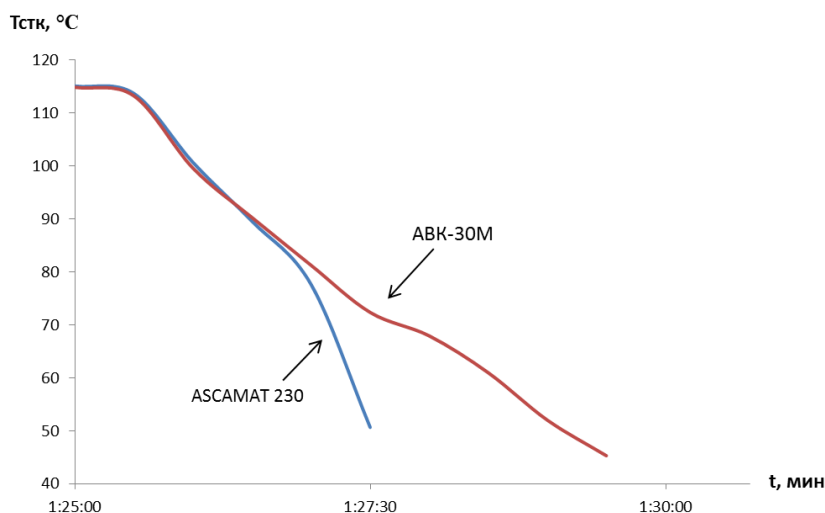
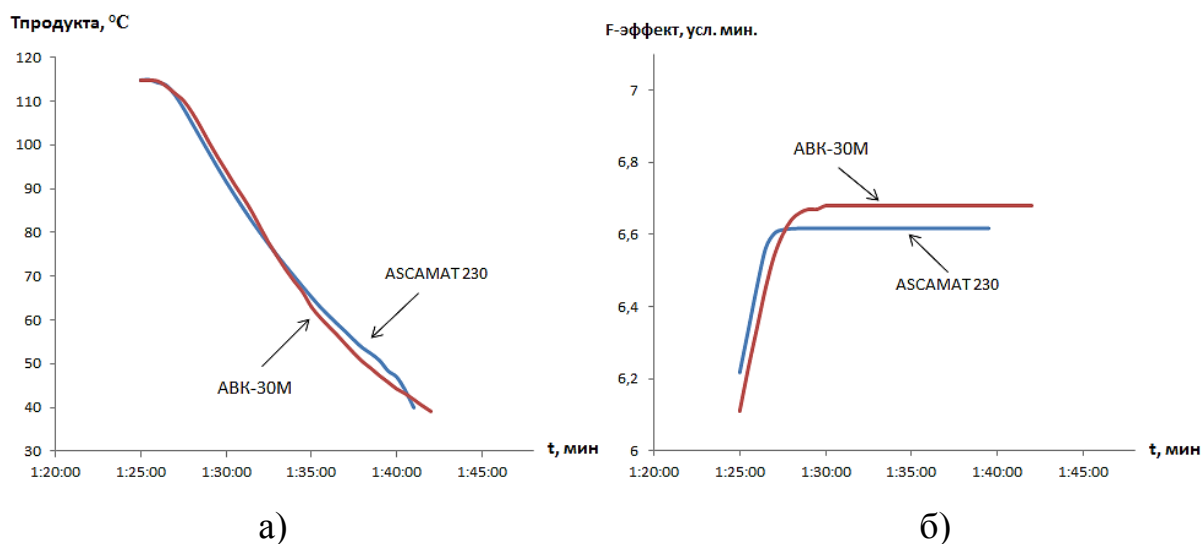


Рисунок 4.35 – Температура внутри автоклавов на этапе охлаждения



а) – температура продукта; б) – значение фактической летальности
 Рисунок 4.36 – Этап охлаждения автоклавов ASCAMAT 230 и АВК-30М

Температура в аппаратах на этапе охлаждения отличаются не более чем на два процента.

Таблица 4.9 – Энергозатраты на этапах нагрева и стерилизации

Автоклав	Объем, л	Кол-во энергии на этапе нагрева, кДж	Кол-во энергии на этапе стерилизации, кДж	Итоговые затраты энергии, кДж	Итоговые затраты энергии, в % от затрат для ASCAMAT 230
АВК-30М	30	2420	1210	3630	14
ASCAMAT 230	230	17785	8180	25965	100

Анализ таблицы 4.9 свидетельствует, что использование предложенной методики позволяет сократить затраты электроэнергии на 85 процентов, а расход сырья – на 90 процентов для одной пробной автоклавоварки, 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 [185].

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 (цифрового двойника);
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».

4.9 Разработка модели тепловых процессов автоклава для тренажера процесса стерилизации консервов

В рамках исследований получена математическая модель процесса стерилизации, которая реализована в приложении «Модель автоклава» (рисунок 4.37). Параметры полученной модели оценивались по результатам сравнения с экспериментальными данными [121, 144-148, 208].

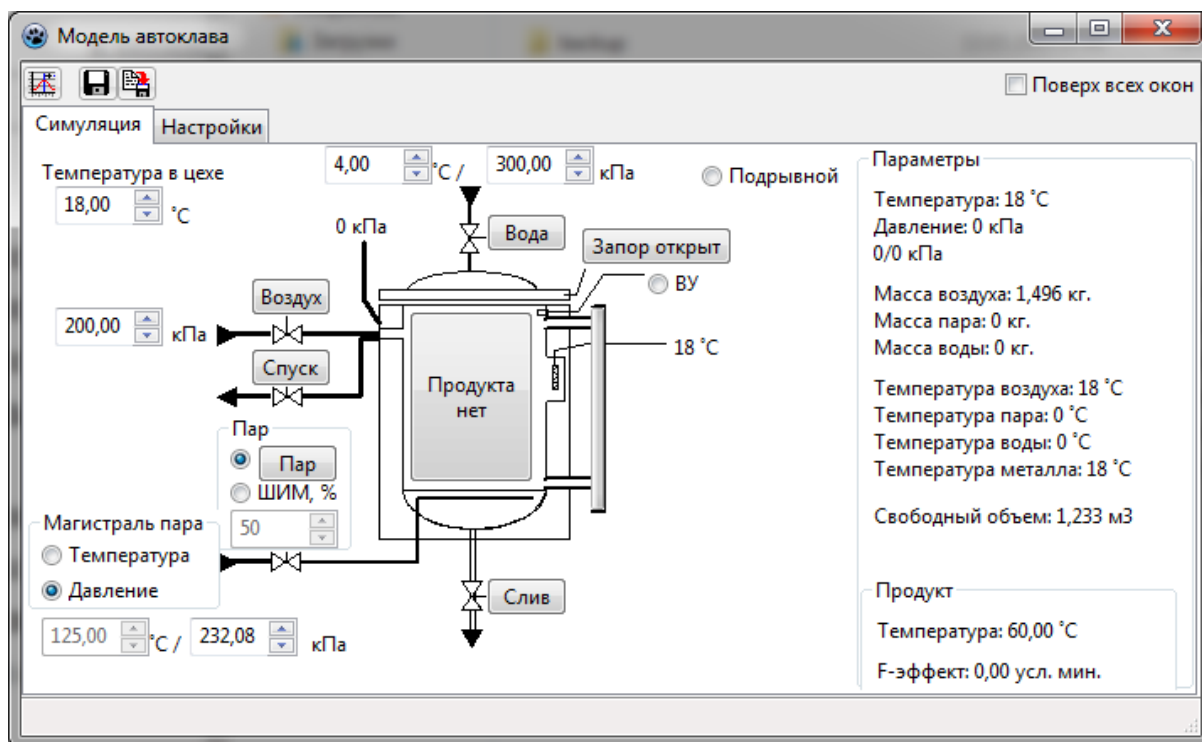


Рисунок 4.37 – Основное окно приложения «Модель автоклава»

Взаимодействие пользователя и программного обеспечения осуществляется кнопками (вода, воздух, пар, спуск, слив, запор открыт). Программа позволяет провести моделирование процесса стерилизации в паровой и водной среде.

Процесс стерилизации в водной среде при управлении ручным нажатием на кнопки приложения представлен на рисунке 4.38. Процесс начинается с заполнения аппарата водой до уровня $2/3$ от объема автоклава и нагрев температуры $60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

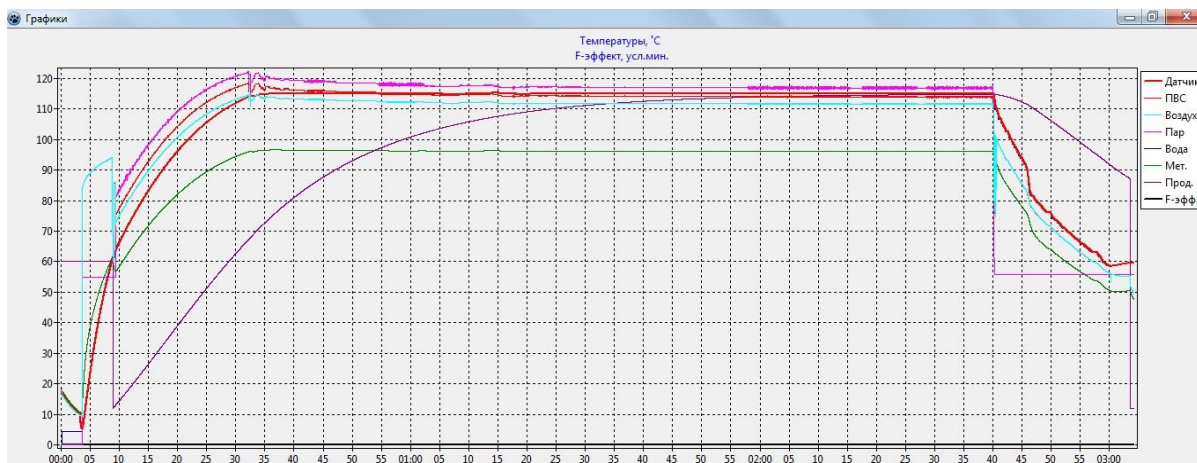


Рисунок 4.38 – Пример моделирования процесса стерилизации консервов в воде в программе «Модель автоклава»

Начало процесса стерилизации в воде происходит после нажатия на кнопки «продукта нет», «Запор открыт» и «Пар». При таком взаимодействии с программой осуществляется моделирование нагрева водной среды аппарата (рисунок 4.39).

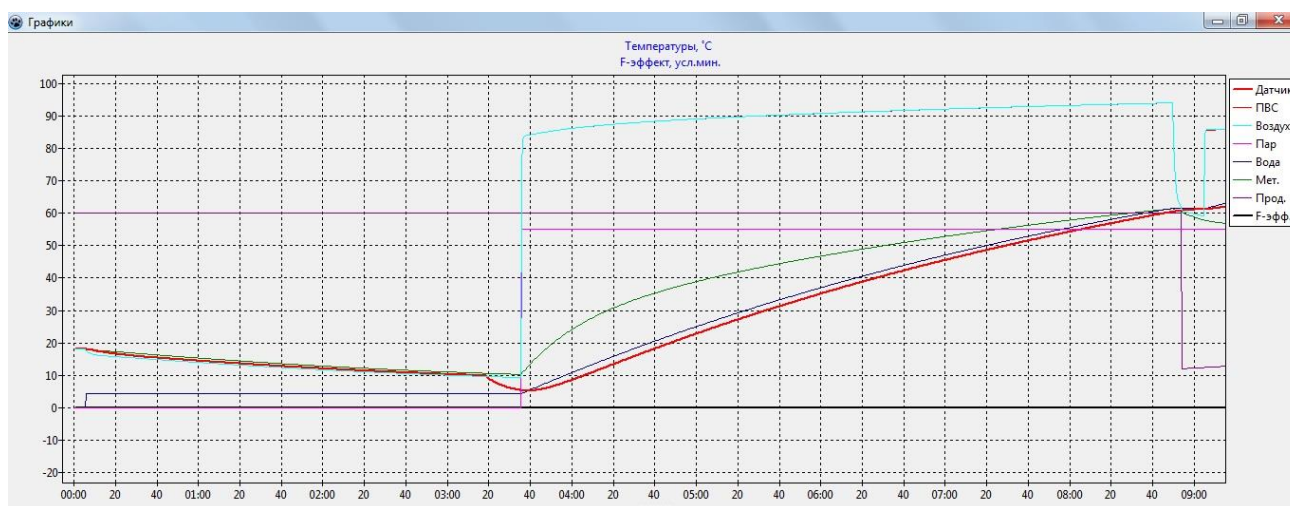


Рисунок 4.39 – Графики температуры в автоклаве при заливе воды и прогреве

Достижение указанной в режиме температуры стерилизации 115 градусов Цельсия происходит через 25 минут после начала процесса (рисунок 4.40). Собственно стерилизация для пользователя сопровождается установлением

такого значения в поле ШИМ % (рисунок 4.41), при котором температура процесса не изменяется в пределах 1 градуса до окончания этапа процесса.

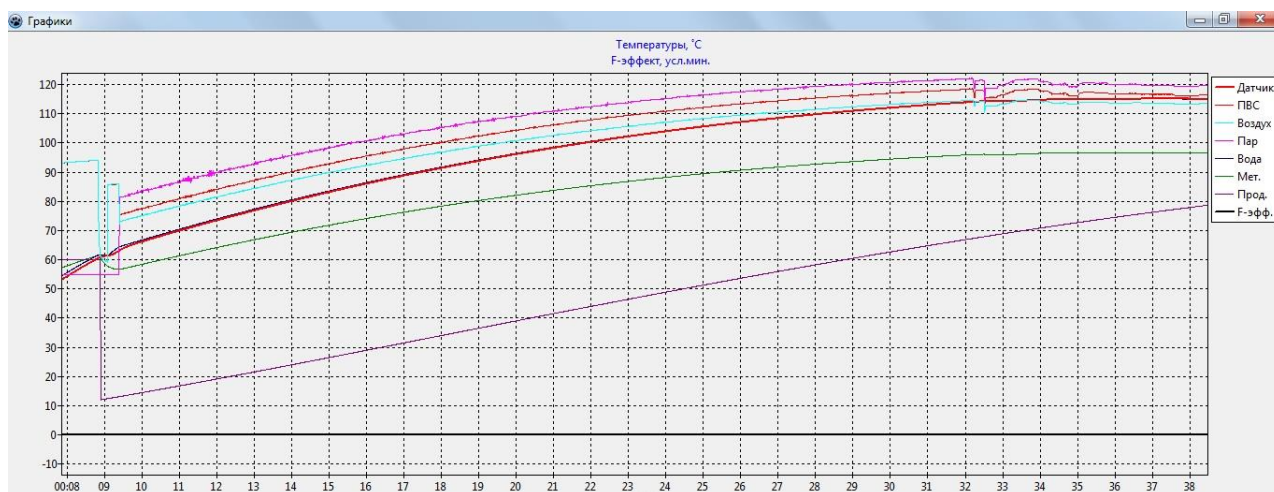


Рисунок 4.40 – Графики температуры в автоклаве при нагреве

Этап охлаждения реализуется нажатием на кнопки «Пар» (для выключения подачи), на кнопки «Вода» и «Спуск». На данном этапе происходит уменьшение температуры до значений, при которых продукт можно изъять из аппарата. Для поддержания давления в автоклаве происходит нажатие на кнопку «Воздух». Завершение этапа охлаждения и процесса стерилизации при отсутствии в аппарате всех сред и продукта.

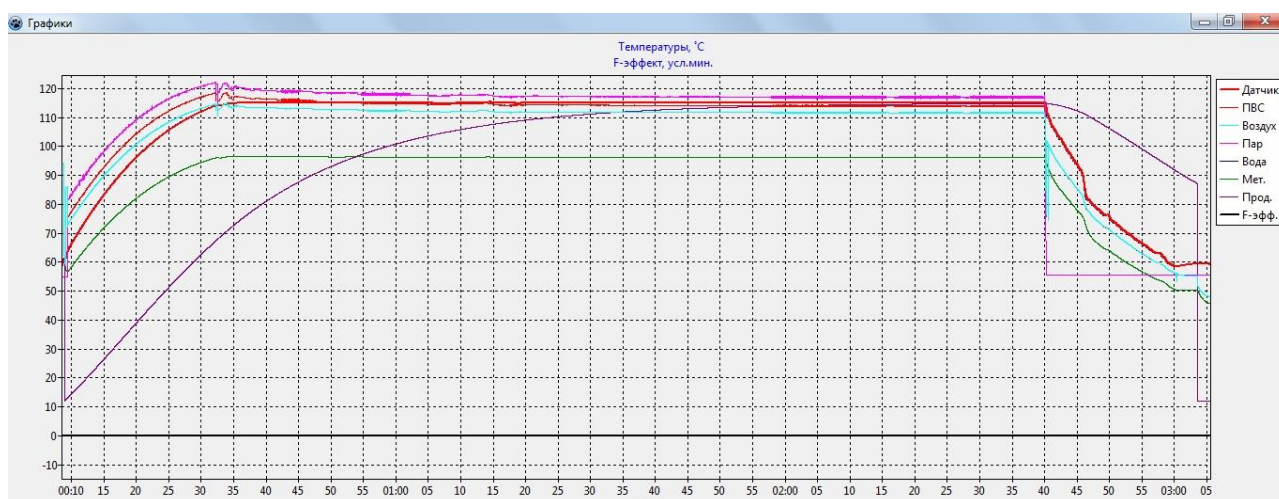


Рисунок 4.41 – Графики температуры в автоклаве при стерилизации и охлаждении

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 (рисунок 4.42).

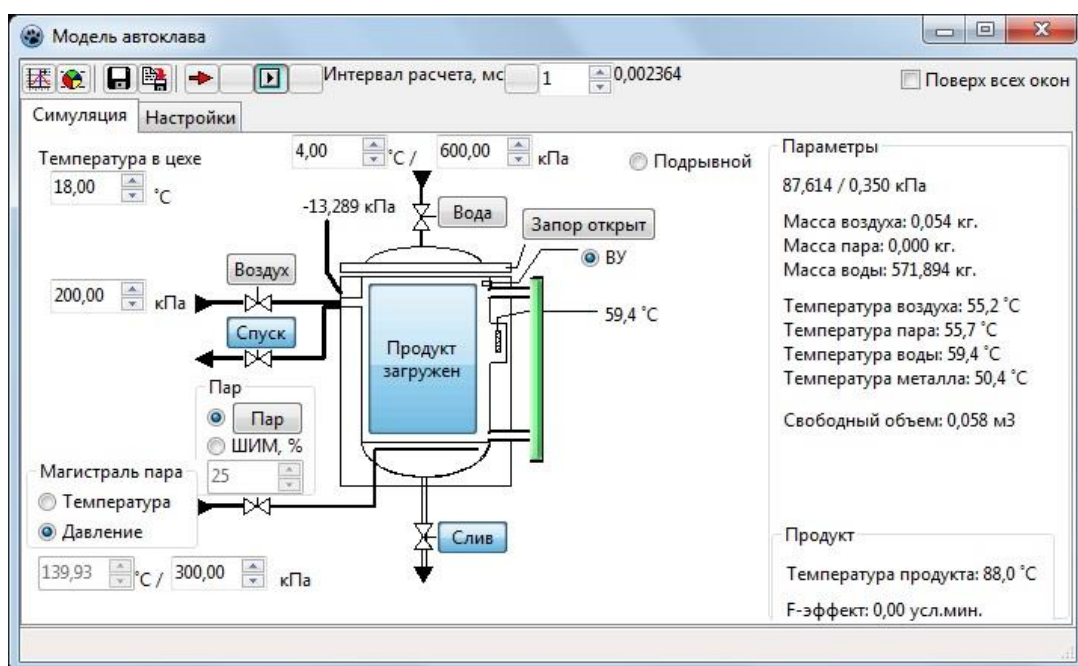


Рисунок 4.42 – Основное окно моделирующего приложения

Выводы по 4 главе

- приведена практическая реализация результатов исследований тепловой обработки водных биоресурсов арктики в автоклавах. подробно рассмотрен комплекс мист и его модули: мист.автоматика, модуль мист.проектирование_режима.
- описан процесс цифрового моделирования и оптимизации процесса термической обработки консервов. проведено моделирование процесса тепловой обработки с прогнозированием значения f-эффекта при разработке новых режимов тепловой обработки консервов. предложены формы записи таких режимов тепловой обработки. описано программное обеспечение расчета

фактической летальности процессов тепловой обработки консервированных пищевых продуктов.

- проведена «цифровая сертификация» режимов стерилизации консервной продукции с применением цифровых двойников.
- разработаны модели тепловых процессов автоклава для цифрового двойника процесса стерилизации 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.
- предложена методика, обеспечивающая подбор параметров процесса стерилизации в автоматическом режиме.
- предложена методика цифрового моделирования процессов тепловой обработки.
- предложена методика «цифровой сертификации» режимов стерилизации консервной продукции с применением цифровых двойников

ГЛАВА 5. Практическая реализация результатов исследований тепловой обработки водных биоресурсов арктики в коптильно-сушильных установках

5.1 Структура автоматизированной системы управления процессом копчения пищевых продуктов

Схема входных и выходных воздействий процесса копчения пищевых продуктов представлена на рисунке 5.1.



Рисунок 5.1 – Схема входных и выходных воздействий процесса копчения пищевых продуктов

Входные воздействия:

- заданная температура процесса;
- заданная влажность процесса.

Выходные величины:

- влажность в коптильной камере;
- температура в коптильной камере.

Возмущающие воздействия:

- температура дымовоздушной смеси;
- влажность дымовоздушной смеси;
- температура воздуха, подаваемого из цеха в установку;
- относительная влажность воздуха, подаваемого из цеха в установку.

5.2 Модернизация системы автоматического управления универсальной коптильно-сушильной установкой

Система автоматического управления универсальной коптильно-сушильной установкой была разработана в 2009 году и в настоящее время нуждается в модернизации [1, 96, 98, 119, 137-138, 150-153, 168]. Один из вариантов модернизации САУ УКСУ представлен в данной работе. Рассмотрим функциональную схему (рисунок 5.2) системы автоматического управления.

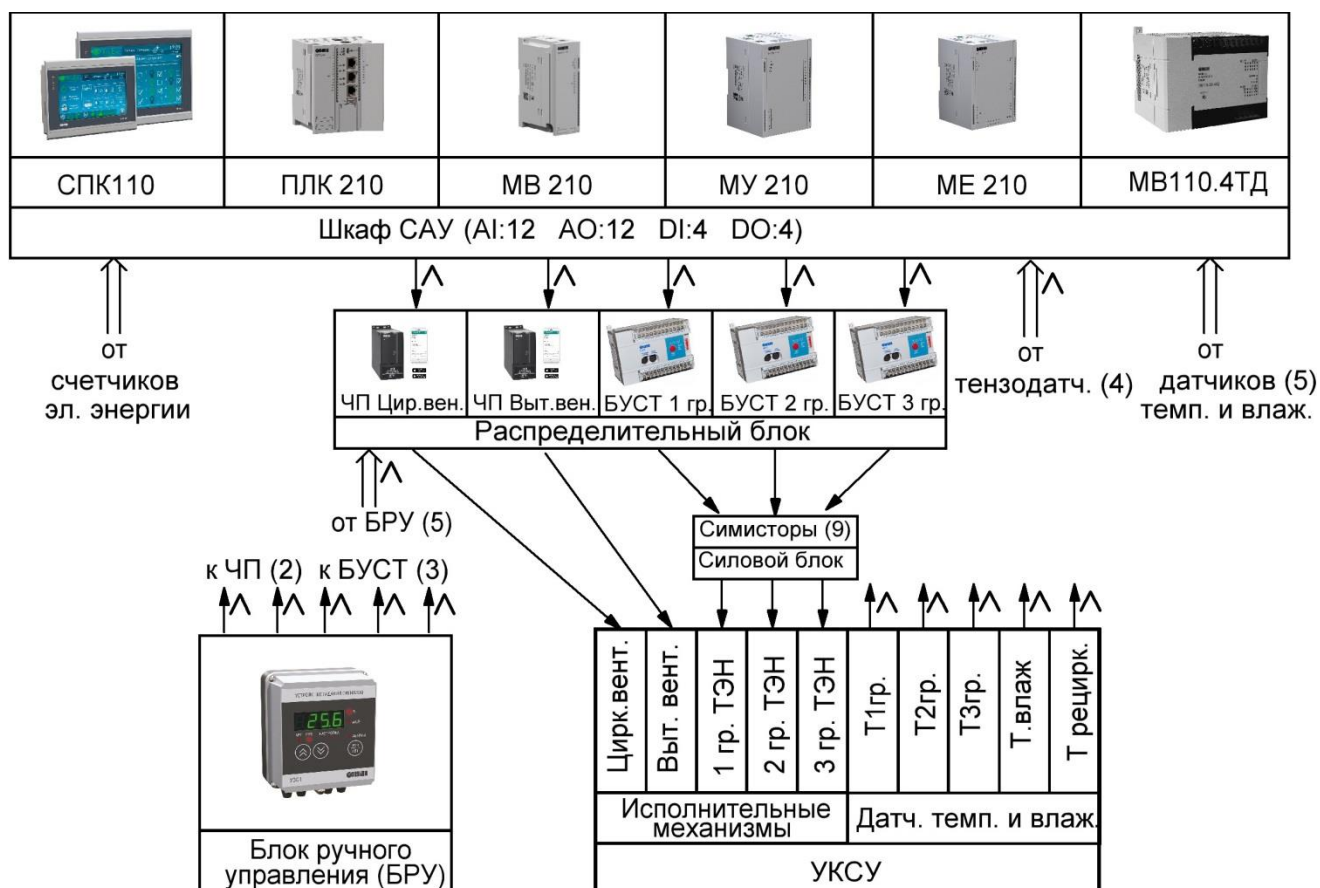


Рисунок 5.2 – Схема функциональная системы автоматического управления

Локальное управление осуществляется с применением программируемого логического контроллера [108] отечественного производителя ПЛК 210. ПЛК обладает высокой производительностью и имеет достаточное для реализации задач управления количество дискретных входов и выходов. Ввод аналоговых сигналов с датчиков температуры и влажности процесса копчения

(обезвоживания) осуществляется с применением модуля MB210. Модуль аналогового вывода (МУ210) выдает сигнал управления на модуль БУСТ трех групп трубчатых нагревателей (ТЭН) и на преобразователи частоты вентиляторов УКСУ. Блок управления тиристорами и симисторами осуществляет регулирование мощности ТЭН, установленных в УКСУ. Циркуляционный вентилятор стабилизирует воздушный поток установке. Вытяжной вентилятор при увеличении частоты вращения выбрасывает в окружающую среду часть дымовоздушной смеси, что снижает относительную влажность среды. Измерение температуры и относительной влажности в секциях осуществляется датчиком температуры и влажности ПВТ100. В системе предусмотрен переход на ручное управление исполнительными механизмами. Для этого используются устройство - задатчик аналогового сигнала УЗС в количестве 5 единиц. Для повышения энергетической эффективности используется модуль измерения параметров трехфазной электрической сети ME210. Качество процесса обезвоживания копченой продукции оценивается с помощью тензодатчиков и модуля аналогового ввода сигналов с тензодатчиков. Функциональная схема автоматизации УКСУ изображена на рисунке 5.3. Функциональная схема автоматической системы управления УКСУ представлена на рисунке 5.4.

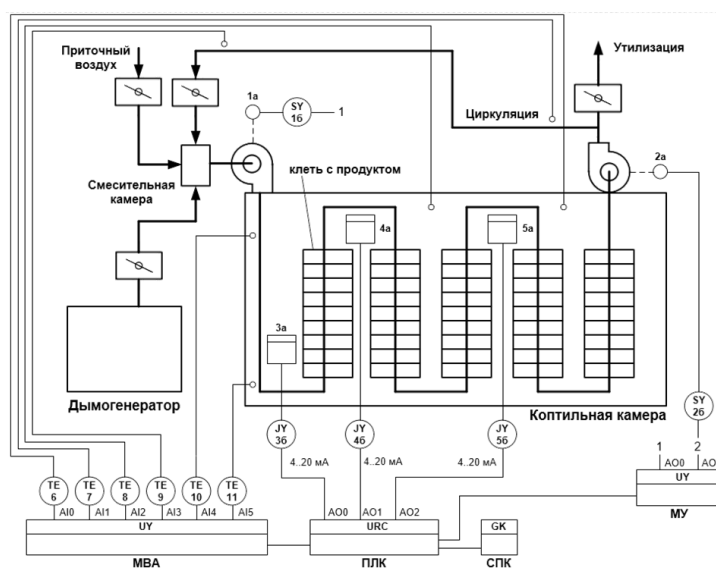


Рисунок 5.3 – Схема функциональная схема автоматизации системы автоматического управления

Сенсорный панельный контроллер реализует уровень диспетчерского управления процессом копчения пищевых продуктов и предназначен для отображения основных процессов происходящих в системе автоматического управления, формирования заданий для локальных систем автоматического управления, ведения архивов и анализа трендов изменения температуры и влажности, фиксации возможного вмешательства оператора в технологический процесс. Контроллер представляет возможность удаленного контроля для технологического процесса копчения пищевых продуктов.

Реализация алгоритмов управления с прогнозированием может быть осуществлена частично в программном коде СПК, а частично, в внешнем персональном компьютере диспетчера системы автоматического управления процессом копчения пищевых продуктов.

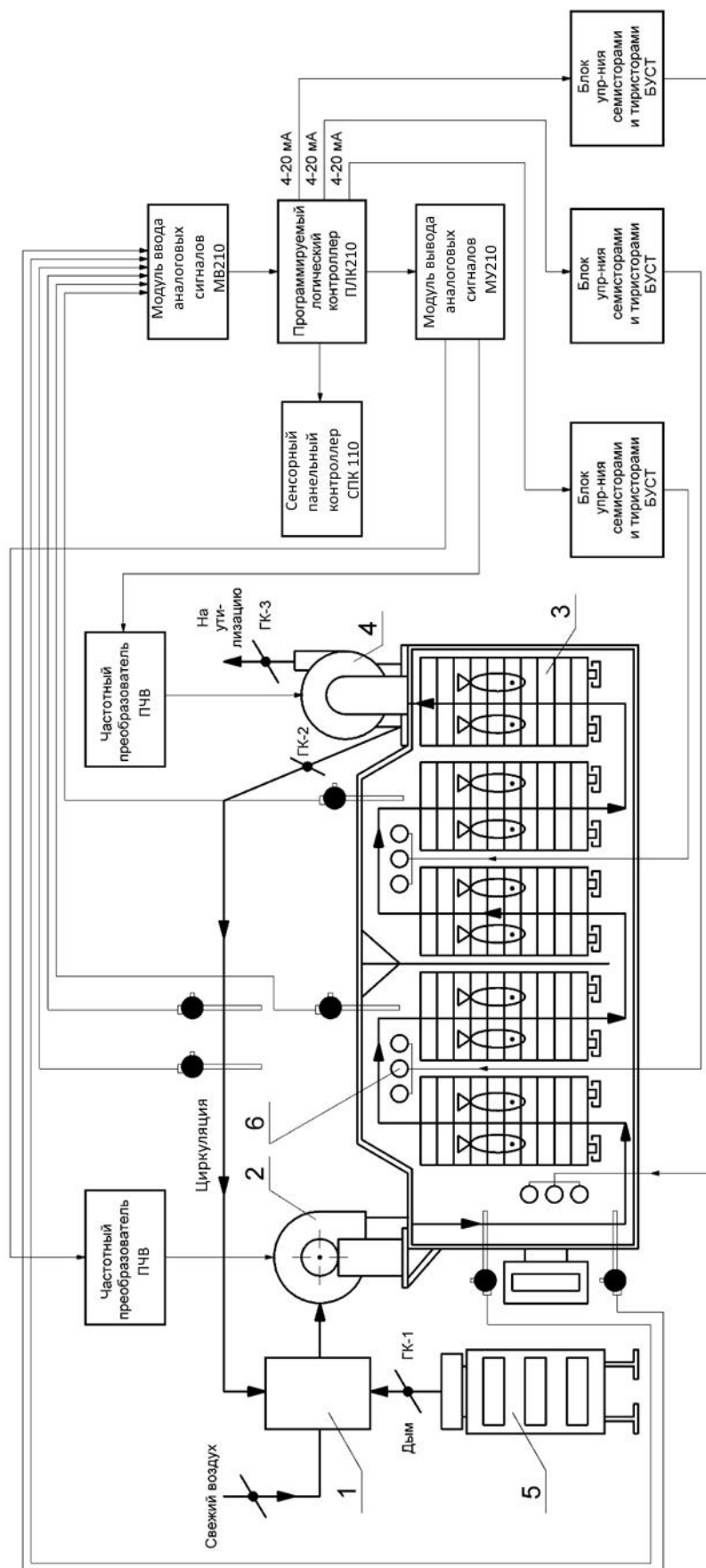


Рисунок 5.4 – Функциональная схема автоматической системы управления УКСУ

5.3 Моделирование системы автоматического управления процессом копчения пищевых продуктов

Моделирование системы автоматического управления процессом копчения пищевых продуктов проведем в среде MatLab. Функциональная схема САУ процесса копчения представлена на рисунке 5.5. Структурная схема при моделировании процесса представлена на рисунке 5.6.

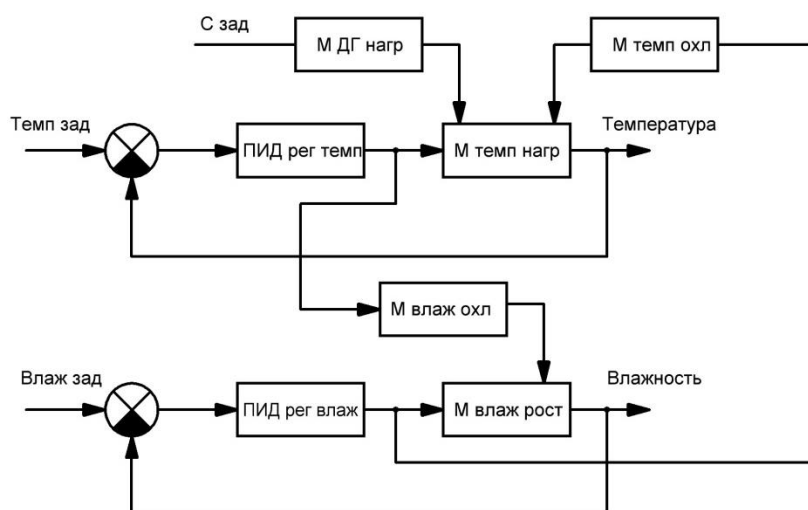


Рисунок 5.5 – Модель системы управления на основе ПИД-регуляторов

На функциональной 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.

Идентификация параметров модели процесса копчения пищевых продуктов

Для идентификации параметров модели процесса копчения пищевых продуктов необходимо получить переходные характеристики температурного контура и контура влажности коптильной камеры. План экспериментов разработан в рамках диссертационного исследования доцента кафедры АиВТ

МГТУ Вискова Андрея Юрьевича [12]. В данной диссертационной работе эксперименты проведены на УКСУ в режиме работы одной секции и одной группы нагревателей. В рамках исследования получены переходные процесса нагрева и остывания камеры при воздействии исполнительных механизмов (ТЭН) с мощностью в двадцать пять, пятьдесят, семьдесят пять и сто процентов при закрытых заслонках свежего воздуха и дыма и их открытии на сорок пять градусов и девяносто градусов.

Описание экспериментов при идентификации параметров модели процесса копчения пищевых продуктов представлено в приложении 15.

Коэффициенты дифференциальных уравнений температурной динамики нагрева коптильной камеры представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Коэффициенты дифференциальных уравнений температурной динамики нагрева коптильной камеры при экспериментах

Эксперимент	Коэффициенты дифференциального уравнения температурной динамики нагрева коптильной камеры
При воздействии 50% теплового потока ТЭН	$84,5 \cdot y'(t) + y(t) = 24,4 \cdot x(t)$
При выключении ТЭН	$139,4 \cdot y'(t) + y(t) = 18,8 \cdot x(t)$
При воздействии 25% ТЭН	$118,5 \cdot y'(t) + y(t) = 17,39 \cdot x(t)$
При воздействии 100% ТЭН	$128,5 \cdot y'(t) + y(t) = 24,21 \cdot x(t)$
При воздействии 50% ДГ	$65,9 \cdot y'(t) + y(t) = 24,92 \cdot x(t)$
При выключении ДГ	$151,8 \cdot y'(t) + y(t) = 14,9 \cdot x(t)$
При воздействии 100% ДГ и при 50% ТЭН	$119,7 \cdot y'(t) + y(t) = 23,8 \cdot x(t)$
При выключении дымогенератора, при воздействии 50% ТЭН	$77,72 \cdot y'(t) + y(t) = 21 \cdot x(t)$
При воздействии 100% ТЭН	$80,81 \cdot y'(t) + y(t) = 29,65 \cdot x(t)$
При выключении ТЭН	$56,6 \cdot y'(t) + y(t) = 17,3 \cdot x(t)$

Коэффициенты дифференциальных уравнений температурной динамики влажности дымовоздушной смеси представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Коэффициенты дифференциальных уравнений динамики роста влажности дымовоздушной смеси

Эксперимент	Коэффициенты дифференциального уравнения динамики роста влажности дымовоздушной смеси
При закрытии заслонок	$4,84 \cdot y''(t) + 4,97 \cdot y'(t) + y(t) = 61,4 \cdot x(t)$
При закрытии заслонок и воздействии 100% ТЭН	$11,2 \cdot y'(t) + y(t) = 61,3 \cdot x(t)$
При закрытии заслонок до 20° и воздействии 50% ТЭН	$9,158 \cdot y''(t) + 5,021 \cdot y'(t) + y(t) = 66,66 \cdot x(t)$

Коэффициенты дифференциальных уравнений температурной динамики падения влажности дымовоздушной смеси представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Коэффициенты дифференциальных уравнений температурной динамики падения влажности дымовоздушной смеси

Эксперимент	Коэффициенты дифференциального уравнения динамики падения влажности дымовоздушной смеси
При открытии заслонок	$1,4 \cdot y''(t) + 3,27 \cdot y'(t) + y(t) = 55,04 \cdot x(t)$
При открытии заслонок и сохранении воздействия 100% теплового потока ТЭНов	$4,88 \cdot y'(t) + y(t) = 54,6 \cdot x(t)$
При открытии заслонок до 65° и сохранении воздействия 50% теплового потока ТЭНов	$2,83 \cdot y''(t) + 3,28 \cdot y'(t) + y(t) = 65,5 \cdot x(t)$

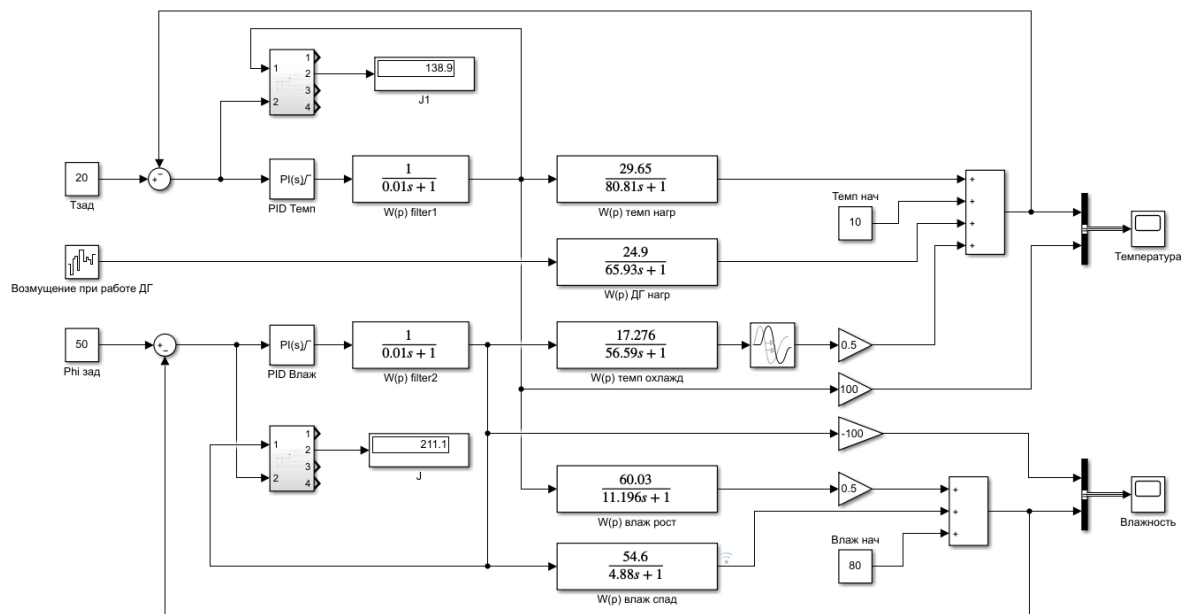


Рисунок 5.6 – Структурная схема при моделировании процесса копчения пищевых продуктов

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.

Переходные процессы регулирования температуры и влажности процесса копчения пищевой продукции представлены на рисунке 5.7.

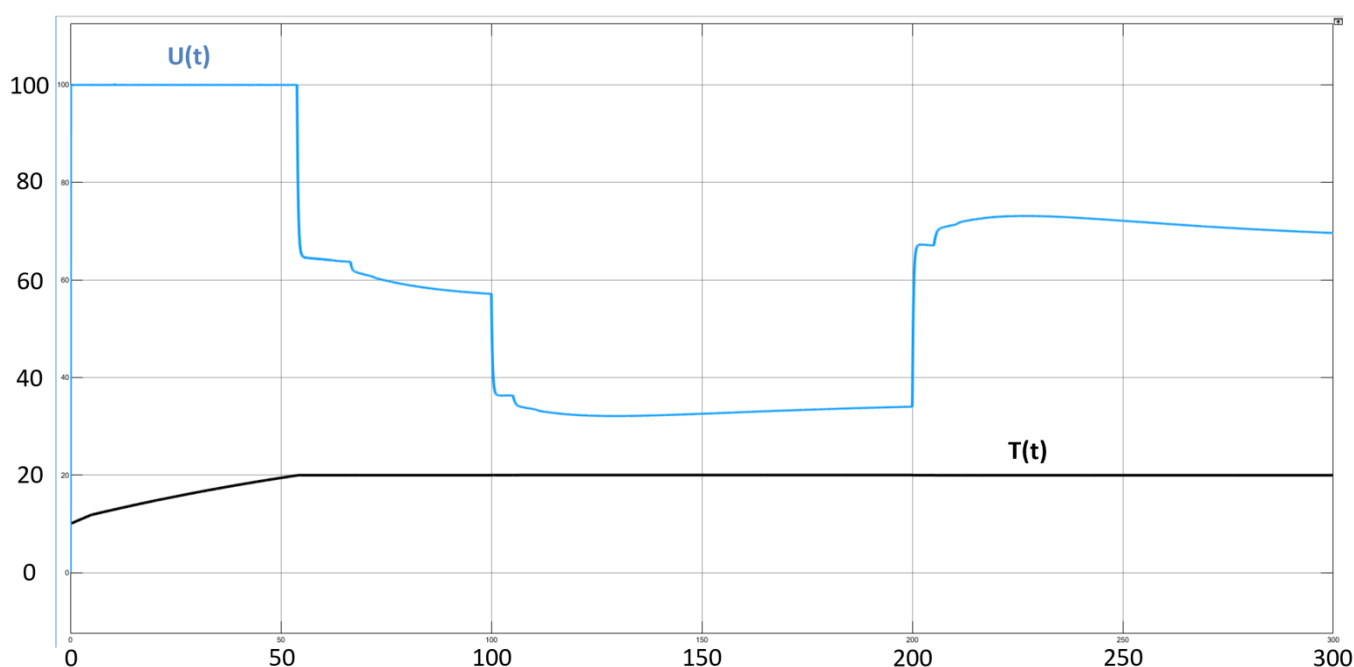


Рисунок 5.7 –Переходный процесс температуры при моделировании процесса копчения пищевых продуктов

Эффективность работы ПИД-регулятора оценим при изменении коэффициентов модели. Произведем изменение коэффициентов передаточных функций $W(p)$ темп нагр, $W(p)$ ДГ нагр, $W(p)$ темп охлад, $W(p)$ влаж рост, $W(p)$ влаж спад в пределах 30 % и определим эффективность настроек ПИД-регулятора по интегральной оценке J рассчитываемой как интеграл суммы

квадрата от рассогласования и квадрата от управления. Результаты оценки эффективности сведены в таблицы 5.4. и таблицу 5.5.

Таблица 5.4 – Результаты оценки эффективности ПИД-регулятора контура температуры

		W(p) темп нагр		Инт. оценка				W(p) ДГ нагр		Инт. оценка	
№	К	Т	J темп	J влаж	№	К	Т	J темп	J влаж		
1	29,65	80,8	138,9	211,1	1	24,9	65,93	138,9	211,1		
2	38,55	80,8	90,27	160,3	2	32,37	65,93	136,3	207,8		
3	20,76	80,8	300,8	644,9	3	17,43	65,93	141,6	214,5		
4	29,65	56,56	83,09	159,3	4	24,9	46,151	136,1	208,6		
5	29,65	105,04	211,2	281,7	5	24,9	85,709	140,7	212,9		
6	38,55	56,56	57,06	147,5	6	17,43	85,709	142,9	215,8		
		W(p) темп охладд		Инт. оценка				W(p) темп охладд		Инт. оценка	
№	К	Т	J темп	J влаж	№	К	Т	J темп	J влаж		
1	17,276	56,59	138,9	211,1	1	17,276	73,57	126,2	204,9		
2	22,46	56,59	166,6	254,6	2	17,276	39,61	166,7	236,3		
3	12,09	56,59	120,7	184,7	3	22,46	39,61	221,7	298		

Таблица 5.5 – Результаты оценки эффективности ПИД-регулятора контура влажности

		W(p) влаж рост		Инт. оценка				W(p) влаж спад		Инт. оценка	
№	К	Т	J темп	J влаж	№	К	Т	J темп	J влаж		
1	60,03	11,2	138,9	211,1	1	54,6	4,88	138,9	211,1		
2	78,04	11,2	139	1009	2	70,98	4,88	127,1	92,11		
3	42,021	11,2	133	125,1	3	38,22	4,88	139	4770		
4	60,03	14,56	137,1	169,5	4	54,6	6,344	139	302,5		
5	60,03	7,84	138,9	292,8	5	54,6	3,416	136,8	150,5		
6	42,021	7,84	135,2	141,8	6	70,98	3,416	124,4	59,66		

Анализ таблиц 5.4 и 5.5 показывает, что при изменении коэффициентов модели до 30%, также до 30% изменяется качество управления процессом с помощью ПИД-регулятора. Вариантами продолжения исследования может быть создания адаптивной САУ [72, 109, 163, 194, 106] процессом копчения с наблюдателем или реализация предиктивного управления на базе MPC-регуляторов.

5.4 Иерархическая структура системы автоматического управления процесса копчения пищевых продуктов

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 и жесткости режима.

Вторым уровнем иерархии являются локальные системы автоматического регулирования [57] температуры и влажности в процессе копчения пищевой продукции. Подробно этот вопрос рассмотрен выше.

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 показана 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.

Четвертым уровнем иерархии является уровень формирования качества управления процессом копчения пищевых продуктов. На данный уровень поступает информация о текущих значениях регулируемых параметрах 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.

Иерархическая структура системы управления процессом копчения пищевых продуктов представлена на рисунке 5.8.

Наивысшее качество управления технологическими процессами пищевых производств может быть достигнуто при системном подходе.

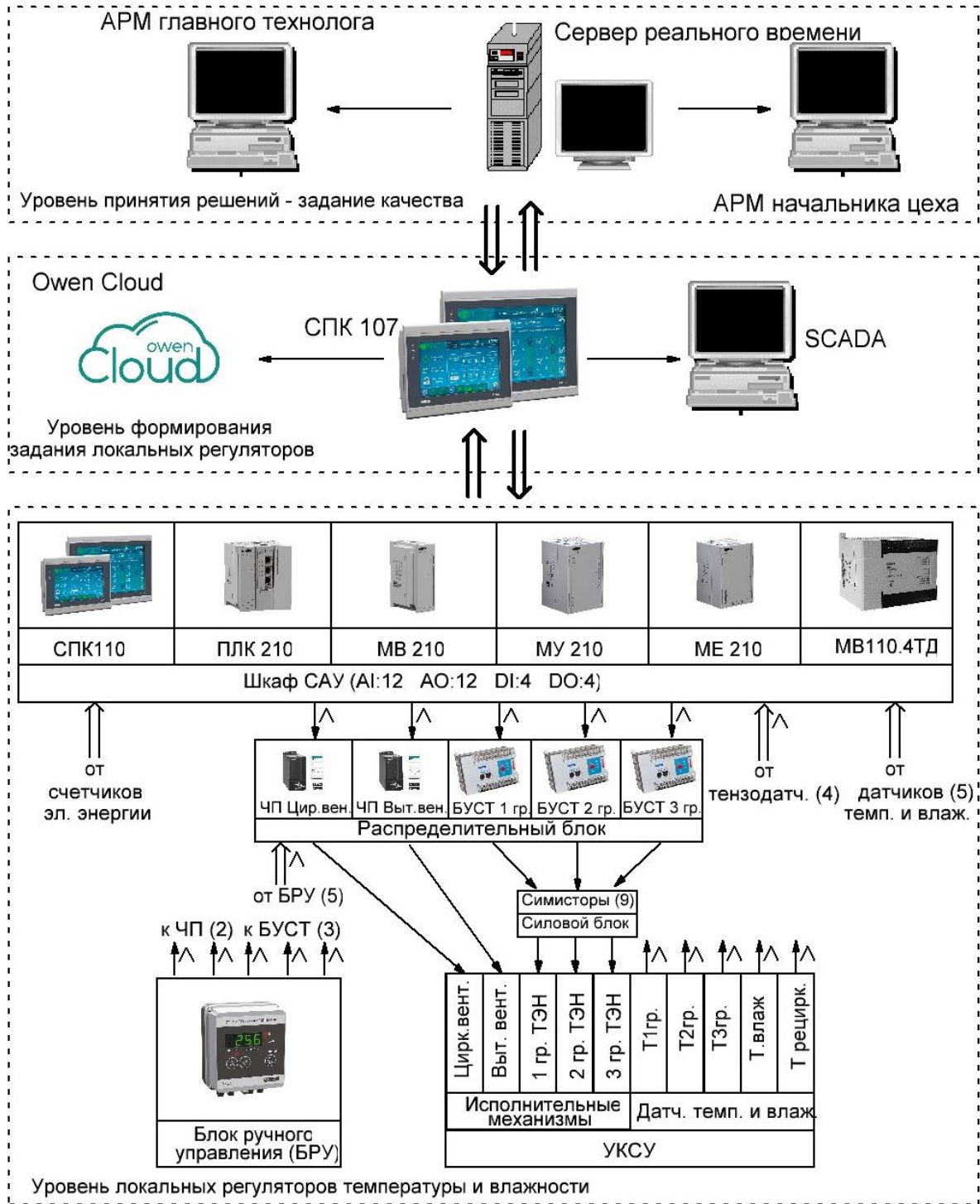


Рисунок 5.8 – Иерархическая структура системы автоматического управления процесса копчения пищевых продуктов

5.5 Моделирование многоконтурной системы управления универсальной коптильно-сушильной установки

В исследуемой системе выделены 7 контуров (рисунок 5.9):

- контур А1 управления 1 группой ТЭН;

- контур A2 управления 2 группой ТЭН;
- контур A3 управления 3 группой ТЭН;
- контур A4 управления вытяжным вентилятором по влажности;
- контур A5 управления группами ТЭН по влажности;
- контур A6 управления циркуляционным вентилятором по температуре;
- контур A7 управления дымогенератором.

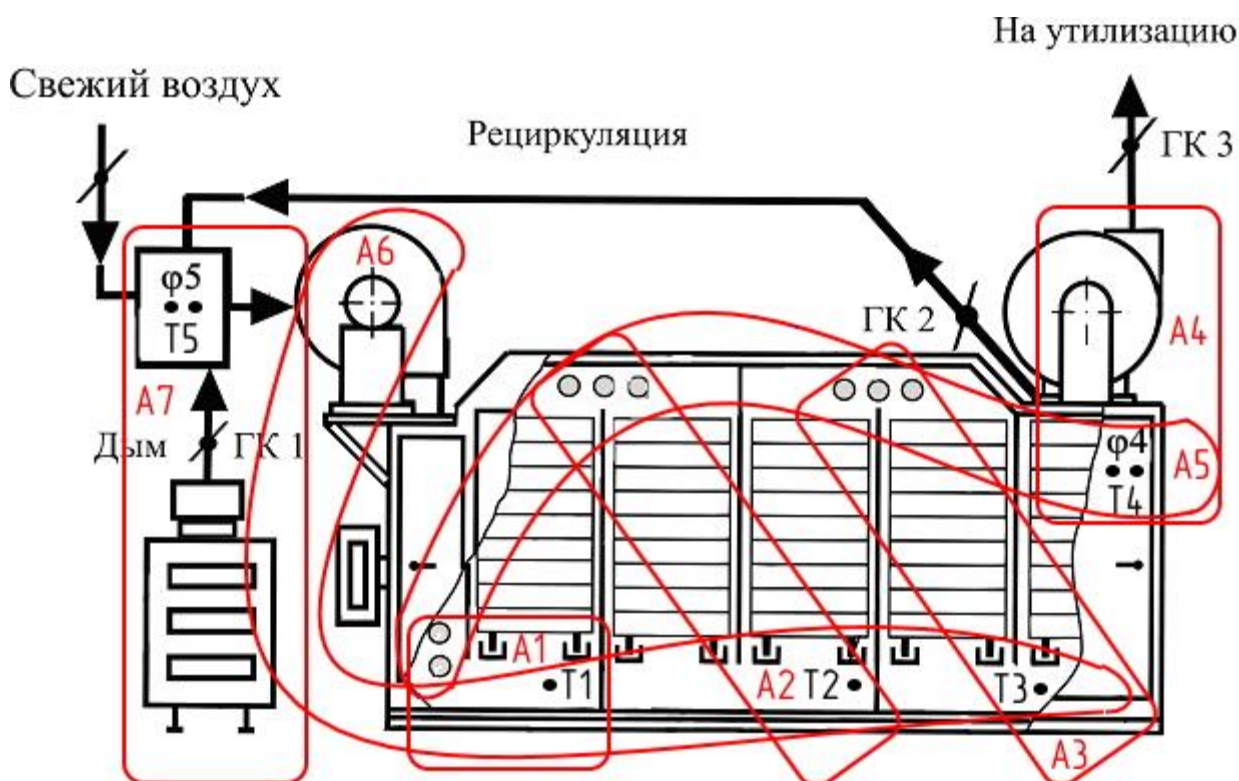


Рисунок 5.9 – 7 контуров управления в САУ УКСУ

Контуров используют общие ресурсы, в которые входят датчики температуры и влажности САУ УКСУ.

Структура контуров A1-A3 (рисунок 5.10).

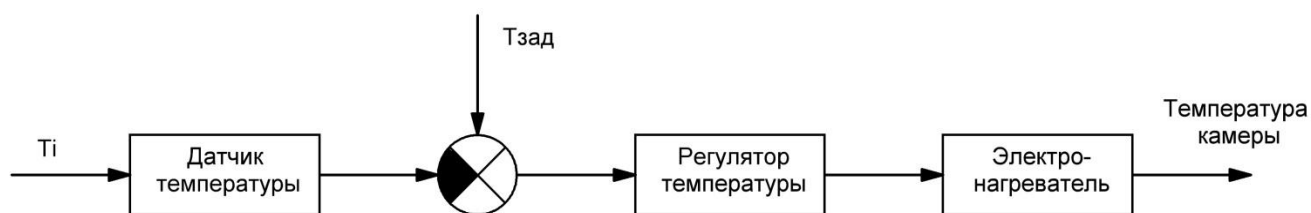


Рисунок 5.10 – Контур управления температурой УКСУ

Контуры А1, А2, А3 выполняют основную функцию регулирования температуры в универсальной коптильно-сушильной установке.

Структура контура А4 представлена на рисунке 5.11.

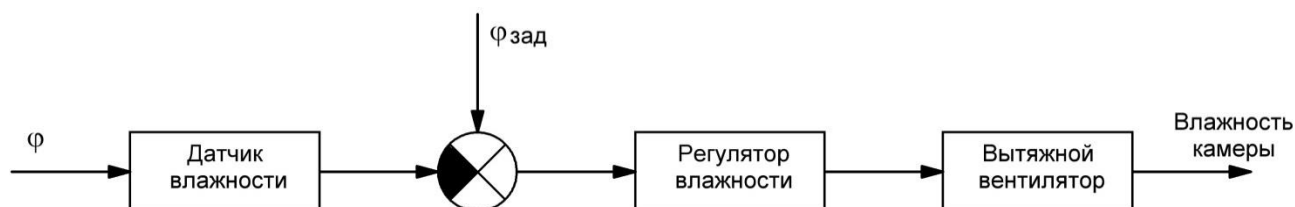


Рисунок 5.11 – Контур управления влажностью УКСУ

Контур А4 выполняет основную функцию регулирования влажности в универсальной коптильно-сушильной установке.

Структура контура А5 представлена на рисунке 5.12.

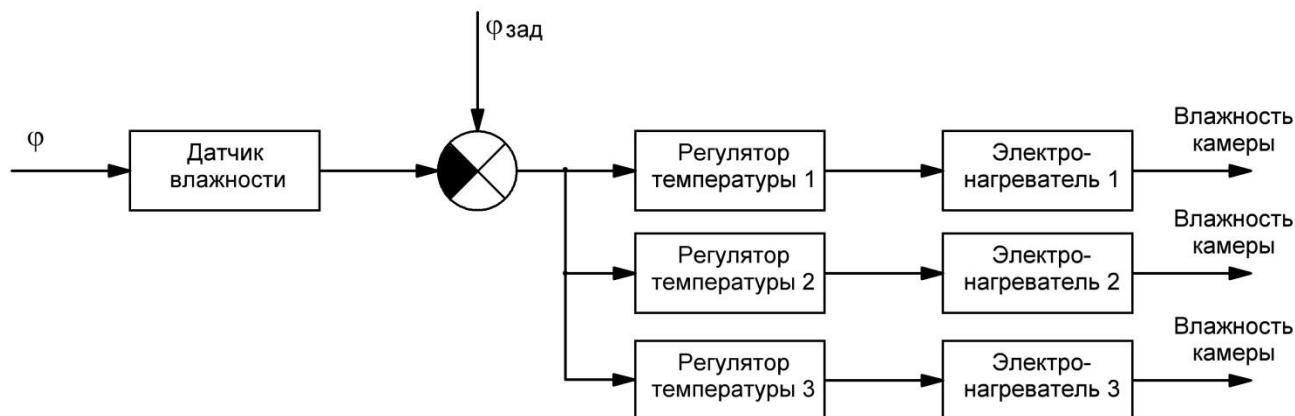


Рисунок 5.12 – Контур управления влажностью по датчикам влажности УКСУ

Контур А5 выполняет основную функцию регулирования влажности в универсальной коптильно-сушильной установке за счет изменения мощности электронагревателей.

Структура контура А6 представлена на рисунке 5.13.

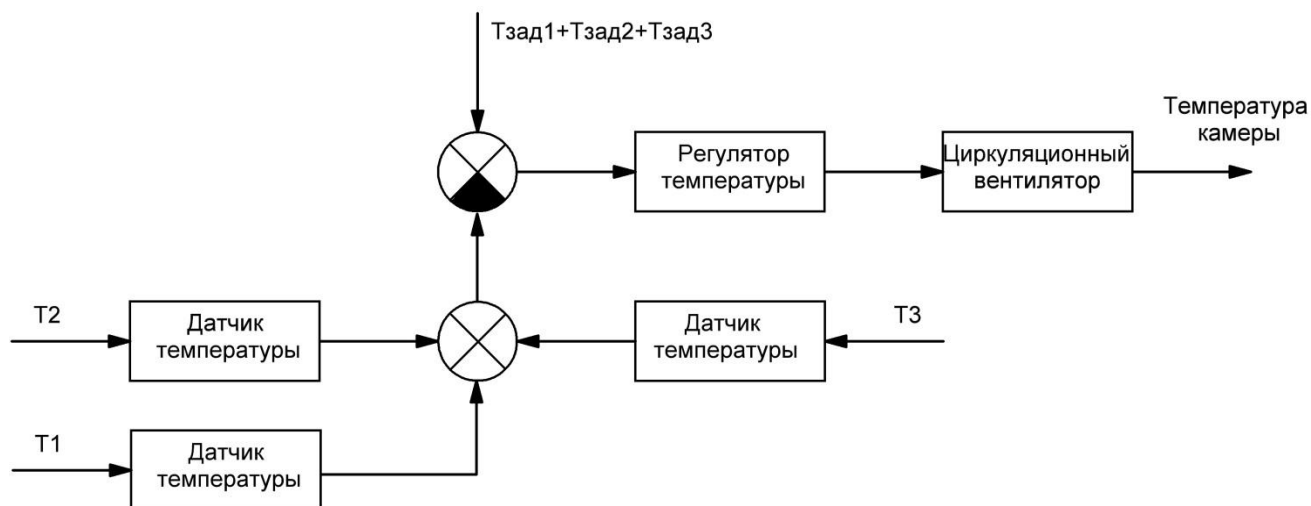


Рисунок 5.13 – Контур управления температурой по трем датчикам температуры УКСУ

Контур А6 выполняет основную функцию регулирования температуры в универсальной коптильно-сушильной установке за счет изменения производительности циркуляционного вентилятора.

Структура контура А7 представлена на рисунке 5.14.

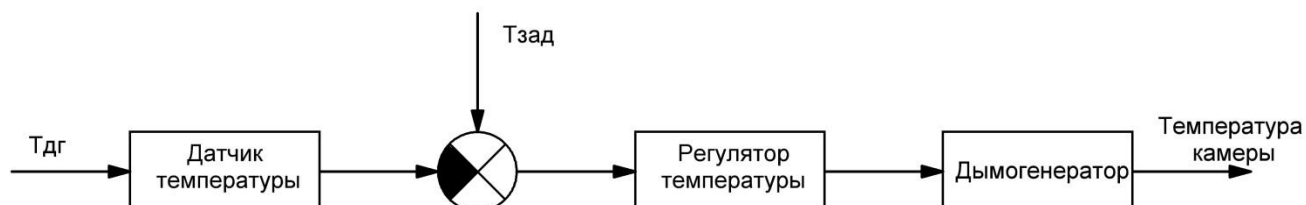


Рисунок 5.14 – Контур управления температурой по датчику температуры ДГ УКСУ

Контур А7 выполняет основную функцию регулирования температуры в универсальной коптильно-сушильной установке за счет изменения производительности дымогенератора.

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.

Описание ситуации 1 при взаимодействии контуров:

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

Описание ситуации 2 при взаимодействии контуров:

Ситуация 2 следует за ситуацией 1. При эксплуатации копильно-сушильной установки включается контур А7 для копчения сырья. Контуры А1-А3 изменяют мощность исполнительных механизмов для поддержания температуры в камере.

Описание ситуации 3 при взаимодействии контуров:

Ситуация 3 следует за ситуацией 1. При эксплуатации копильно-сушильной установки включается контур А6 в соответствии с режимом изменяет производительность циркуляционного вентилятора для поддержания другого значения потока дымовоздушной смеси. Контуры А1-А3 изменяют мощность исполнительных механизмов для поддержания температуры в камере. Контуры А4 и А5 изменяют мощность исполнительных механизмов для обеспечения требуемой влажности в камерах установки для копчения сырья.

5.6 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ЗАТРАТ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРОЦЕСС ОБЕЗВОЖИВАНИЯ

Одним из основных вопросов оптимизации любого технологического процесса является критерий оптимальности. Для технологического процесса обезвоживания рыбного сырья таким критерием будет энергоэффективность, под которой понимается способность выполнять поставленную задачу (в данном случае удаление влаги из рыбного сырья) при минимальных затратах ресурсов.

Очевидно, что существует оптимальное значение коэффициента релаксации, при котором градиент влагосодержания в сырье поддерживается на минимальном уровне, обеспечивая более стабильный отток влаги из рыбы. При уменьшении коэффициента релаксации относительно данного оптимума эффективность процесса понизится за счет недостаточно интенсивного отвода влаги через приповерхностные «сухие» слои; сам процесс обезвоживания до заданного влагосодержания затянется, что повлечет за собой повышенные расходы на работу установки. С другой стороны, при увеличении коэффициента релаксации относительно данного оптимума моменты релаксации необоснованно затянуты, что приводит к простоям оборудования, в течение которых обезвоживание идет естественным путем, т.е. не так эффективно, как при принудительном обезвоживании.

Таким образом, в ходе разработки энергоэффективных режимов релаксации при обезвоживании рыбного сырья требуется оценить затраты на процесс. Преимущественно они складываются из расхода электроэнергии и из оплаты труда оператора установки. Оплата труда оператора напрямую зависит от продолжительности процесса, и определение ее величины не вызывает затруднений, в то время как расход энергии установкой зависит от множества факторов, таких, как выбранный режим релаксации, температура в цехе, загрузка сырья и т.п. Поэтому для оценки эффективности процесса обезвоживания требуется определить величину энергозатрат на процесс.

Для реализации релаксации необходимо отключить питание от нагревателей установки и создать минимальный воздушный поток.

Методика оценки затрат электроэнергии на процесс обезвоживания включает в себя следующие этапы:

- получение сигнала управляющего воздействия на нагреватели в динамическом (нагрев) и статическом режимах (релаксация);
- расчет затрат электроэнергии на процесс.

Применение методики рассмотрим на примере процесса обезвоживания путассу при 25°C (рисунок 5.15, 5.16).

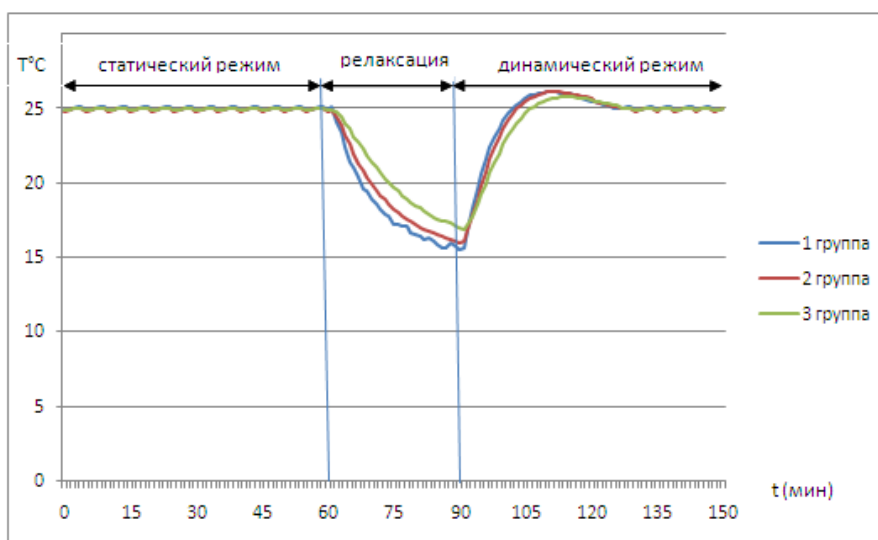


Рисунок 5.15 – Графики температур в секциях УКСУ

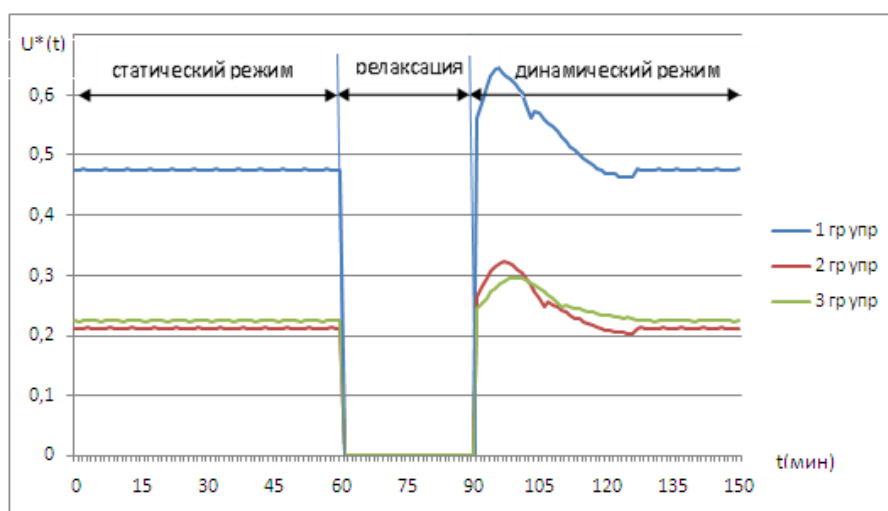


Рисунок 5.16 – Графики сигналов управления нагревателями УКСУ

Количество электроэнергии, потребленной нагревателями в режиме без релаксации составило 288,9 кВт*ч (рисунок 5.17). Количество электроэнергии, потребленной в режиме с релаксацией сырья составило 252 кВт*ч (рисунок 5.18).

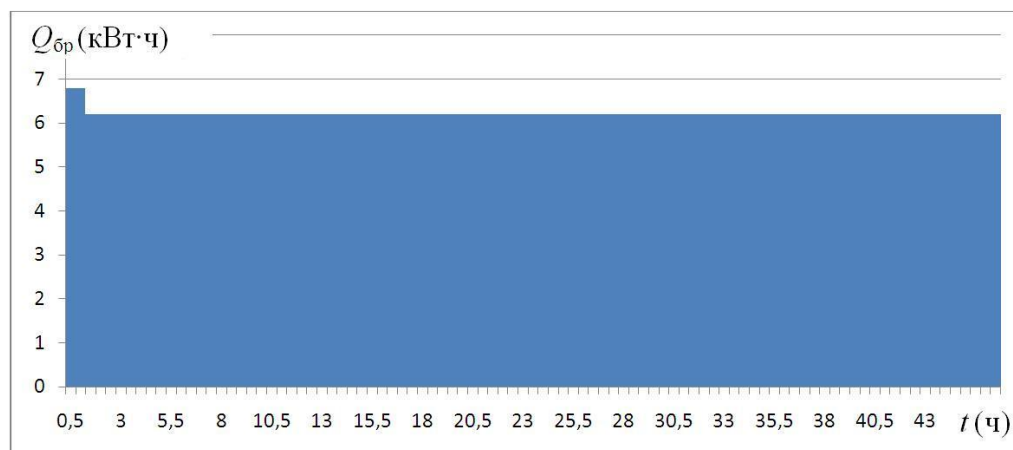


Рисунок 5.17 – Временная диаграмма количества потребляемой энергии при обезвоживании сырья без режимов релаксации

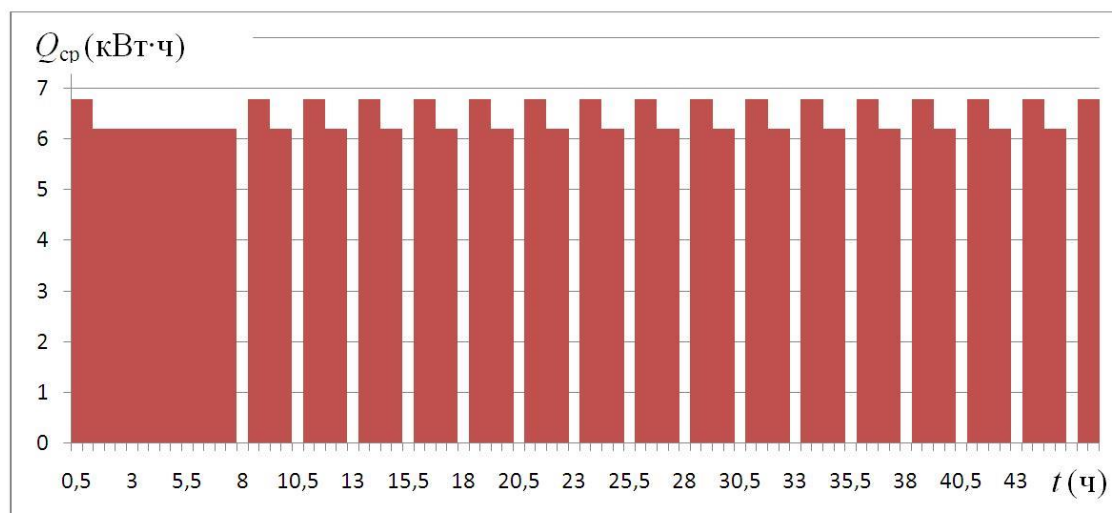


Рисунок 5.18 – Временная диаграмма количества потребляемой, при обезвоживании сырья, с режимами релаксации.

Методика оценки затрат на процесс обезвоживания позволила выявить экономию электроэнергии на процесс в режиме релаксации сырья. Определение близких к оптимальным (в смысле энергоэффективности) значений параметров

процесса обезвоживания может проводиться множеством оптимизационных методов на основании сравнения критериев оптимизации. Например, для режима релаксации с фиксированной продолжительностью могут быть использованы однопараметрические методы оптимизации (решетчатая функция, дихотомия, золотое сечение). Для переменных режимов релаксации могут применяться многопараметрические методы оптимизации (например, покоординатный спуск, градиентный спуск и т.п.).

5.6 «Цифровая сертификация» энергоэффективных режимов обезвоживания сырья с применением «цифровых двойников»

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.

Исследование влияния режимов релаксации на процессы диффузии влаги в рыбе, в ходе которых разработаны переменные режимы, позволяют интенсифицировать процесс отвода влаги из рыбного сырья.

С целью уменьшения числа опытов, проводимых для определения области оптимума для каждого разрабатываемого режима обезвоживания, предлагается использовать методику оптимизации режимов релаксации.

Методика оптимизации режимов релаксации

1. Экспериментальные исследования по обоснованию длительности периода переменного способа обезвоживания;
2. экспериментальные исследования влияния начального и конечного коэффициентов релаксации переменного способа обезвоживания;

3. обработка результатов исследования;
4. получение оптимального значения по энергозатратам темпа обезвоживания при переменных режимах от начального и конечного коэффициента релаксации, температуры и влажности входящего теплоносителя в установку;
5. адаптация полученных переменных режимов обезвоживания для внедрения на промышленных установках;

Методика «цифровой сертификации» энергоэффективных режимов обезвоживания сырья с применением цифровых двойников

1. Экспериментальное исследование сушильной установки с целью получения цифрового двойника;
2. модернизация программного обеспечения системы автоматического управления лабораторной установки (например УПОР-М) для обеспечения адекватного имитационного моделирования процессов исследуемой установки (цифрового двойника);
3. проведение процессов обезвоживания в лабораторной установке (УПОР-М) с применением цифрового двойника исследуемой автоклава;
4. получение энергоэффективных режимов обезвоживания сырья в лабораторной установке (УПОР-М) по методике оценки затрат на процесс обезвоживания и методике оптимизации режимов релаксации;
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».

5.7 Разработка системы автоматического управления процессом сушки продукции из гидробионтов

Для разработки режимов обезвоживания рыбного сырья в 2014 году создана малогабаритная установка для поиска оптимальных технологических режимов (УПОР-М, рисунок 5.19). В настоящее время проведена модернизация установки. Один из вариантов модернизации САУ УПОР-М представлен в данной работе (рисунок 5.20) [53, 70-71, 81-82, 84, 87, 105, 120, 126, 128-129].

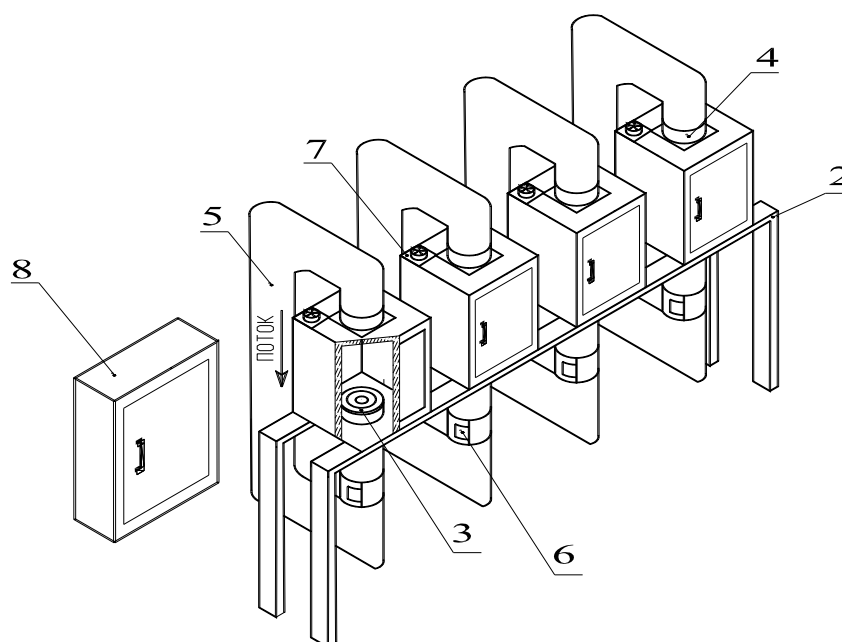


Рисунок 5.19 – Малогабаритная установка для поиска оптимальных режимов релаксации

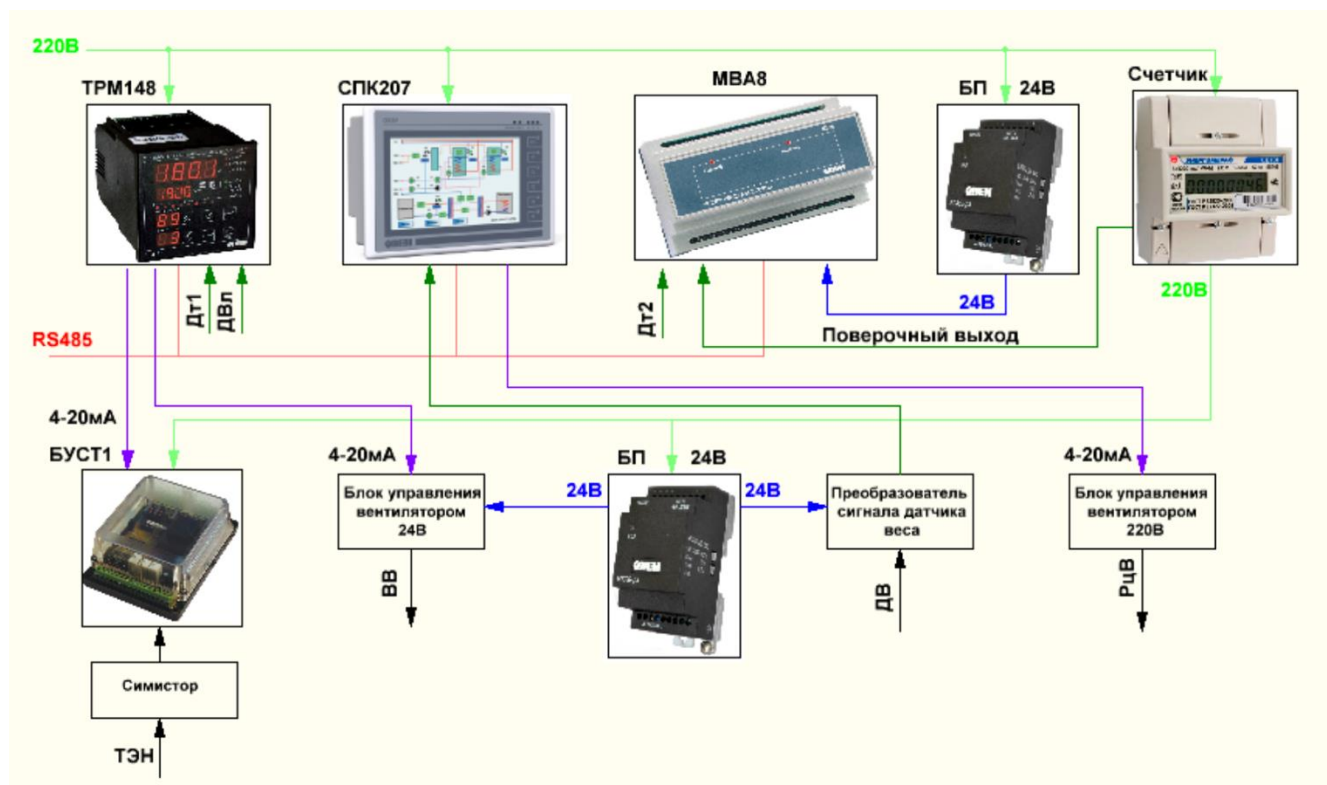


Рисунок 5.20 – Структурная схема модернизированной автоматизированной системы управления сушильной установкой

Система управления сушильной установкой состоит из контроллера СПК107, МВА8, ТРМ148, пяти датчиков температуры и влажности ДВТ-03, блоков управления симисторами и тиристорами, блоков управления вентиляторами вытяжки и рециркуляционными, счетчиков электроэнергии Нива 103, розетками для подключения увлажнителей, блокировки вентиляторов и блока питания.

К аналоговым входам регулятора ТРМ148 подключаются датчики температуры и влажности ДВТ-03 для четырех секций. К выходам регулятора подключаются четыре блока управления симисторами и тиристорами для управления ТЭНами и блок управления вентиляторами вытяжки.

К модулю МВА8 подключены четыре счетчика Энергомера СЕ102, датчик температуры и влажности ДВТ-03 для измерения этих значений помещения. Также к контроллеру подключен блок управления рециркуляционными

вентиляторами, розетки для подключения увлажнителей и блокировка вентиляторов.

К контроллеру СПК107 по интерфейсу RS-485 подключены модуль МВА8 и регулятор ТРМ148. Для питания контроллера СПК107, датчиков температуры и влажности ДВТ-03, блоков управления вентиляторами вытяжки и рециркуляционными вентилляторами используется блок питания БП30Б-Д3 на 24 В.

Регулятор ТРМ148, счетчики электроэнергии Нива 103, розетки под увлажнители и блокировка вентиляторов питаются от сети 220 В.

Основной код программы [133, 141-143, 153-155, 158-160] реализован на языке программирования ST. В самом начале производится обработка элементов панели оператора.

Затем производится чтение данных температуры, влажности, мощности нагревателей и вентиляторов с датчиков ДВТ-03 и записи уставки температуры в ТРМ148.

Далее из панели оператора производится настройка параметров сушки для каждой из секций трех участкового метода. В параметрах в каждой секции для каждого участка задается: период участка, температура сушки, влажность сушки, скорость воздушного потока сушки, температура и влажность релаксации, скорость воздушного потока релаксации, коэффициент релаксации начальный и конечный и количество интервалов на участке и присваивается своей переменной объявленной ранее.

После настройки всех параметров процесс происходит расчет управлений секции. По окончании этого этапа производится расчет времени от начала работы процесса и до конца времени работы процесса сушки.

По нажатию кнопки «Работа» запускается архиватор для сохранения текущей и заданной температуры, влажности, скорости потока, массы сырья, а также мощности вентиляторов и ТЭНов для каждой секции. Данные для каждой секции сохраняются в отдельный файл формат CSV.

Промышленный контроллер является ведущим устройством и подчиняет себе модуль ТРМ148, который управляет вентиляторами вытяжки через блок управления вентиляторами (БУВ) и ТЭНами через блок управления симисторами и тиристорами. Связь между СПК107 и ТРМ148 осуществляется по протоколу передачи ОВЕН. Протокол передачи ОВЕН был реализован на языке программирования ST.

Для создания интерфейса используется программный пакет CodeSys v3, позволяющий создавать интерфейс оператора, отлаживать проект, производить настройки подключения и загружать проект в контроллер.

На рисунке 5.21 изображено главное окно УПОР-М.

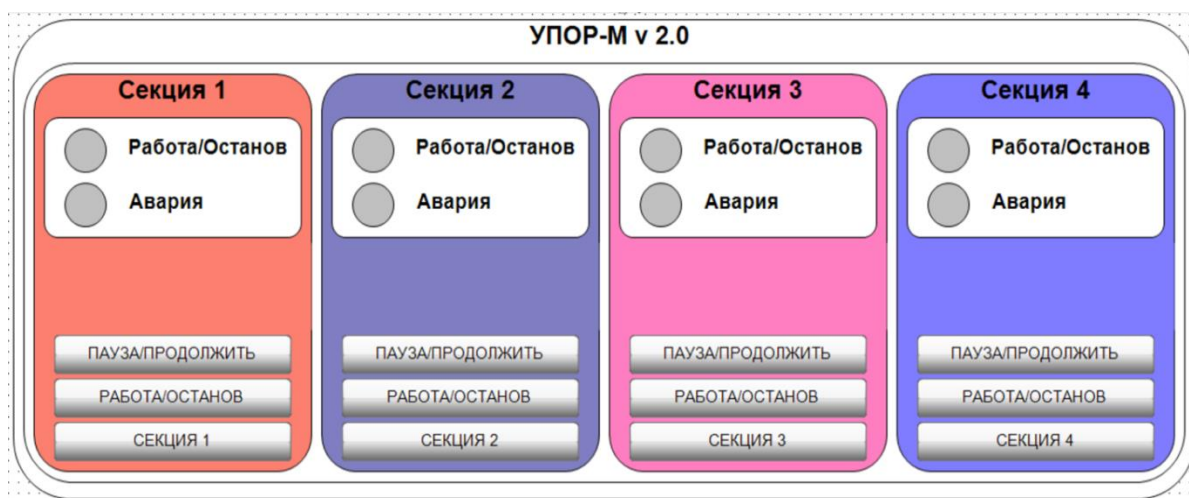


Рисунок 5.21 – Главное окно

В главном окне располагаются 4 секции, у каждой секции расположены сигнальные лампы для отображения «Работы/Останов» и «Авария», кнопки прерывания процесса и старт/стоп, кнопки для перехода к просмотру параметров, графиков и настройки.

На рисунке 5.22 изображено окно настроек секции 1 для трех-участкового метода. В этом окне пользователь выбирает метод сушки и настраиваются параметры такие, как период участка, температура и влажность сушки, скорость воздушного потока, температура и влажность релаксации, скорость воздушного потока при релаксации, коэффициенты релаксации начальный и конечный и количество интервалов на участке.

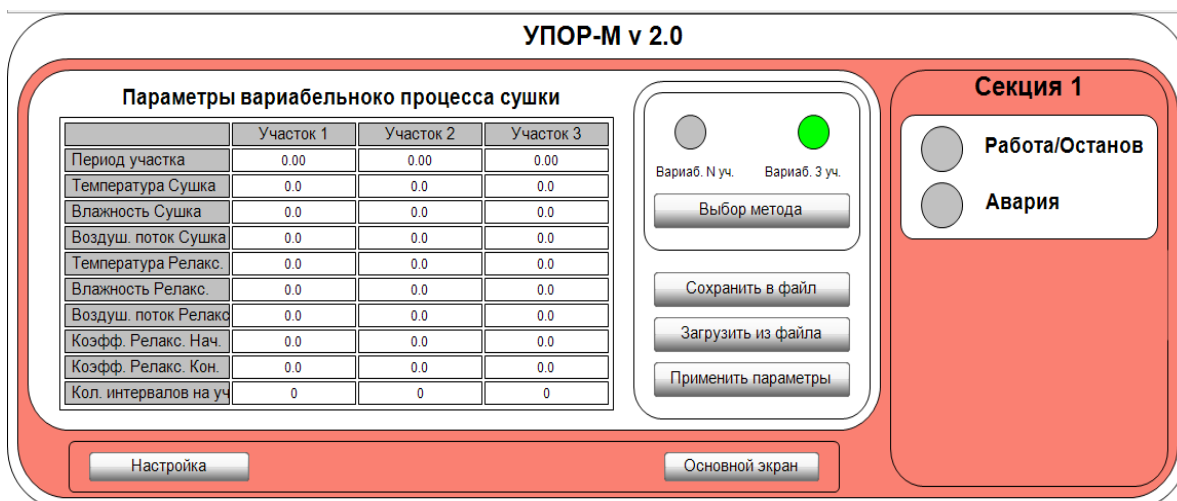


Рисунок 5.22 – Окно настроек параметров сушки для трех участкового метода

При выборе метода n-участкового окно задания параметров изменяется. Настройка происходит по тем же параметрам, что при трех-участковом методе, но настройка параметров участка происходит в отдельном окне. Окно настроек параметров сушки для n-участкового метода представлен на рисунке 5.23.

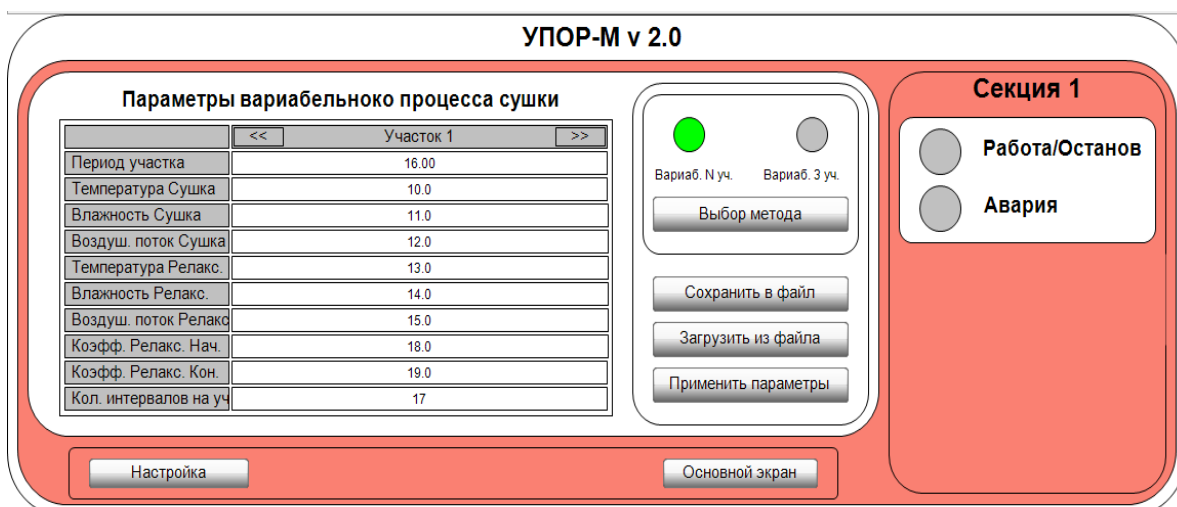


Рисунок 5.23 – Окно настроек параметров сушки для n участкового метода

После настройка процесса сушки и применения параметров происходит переход на окно «Основные технологические данные» представленное на рисунке 5.24. В этом окне отображается вся информация о состоянии внутри секции. Отображаются такие данные, как: текущая и заданная температура, влажность, масса сырья, скорость потока, время с момента запуска и оставшееся время, отображается метод процессов трех-участковый или n-участковый,

текущий номер участка, интервал и этап процесса. Также как и в главном окне есть возможность приостановить или полностью остановить работу секции. Помимо этого в окне секции расположены три кнопки: настройка, графики и возврат на главное окно.



Рисунок 5.24 – Окно контроля параметров секции 1

Для наглядности изменения процесса сушки сырья создано окно для отображения графика процесса во времени. Окно отображения графиков представлено на рисунке 5.25. На графиках отображаются текущая и заданная температура, влажность, скорость потока, текущая и начальная масса сырья, мощность вентиляторов и мощность ТЭНов. Каждый параметр отображается на своем графике и текущие значения дублируются в виде цифрового. Переход между графиками осуществляется по нажатию кнопок «Предыдущий тренд» и «Следующий тренд».

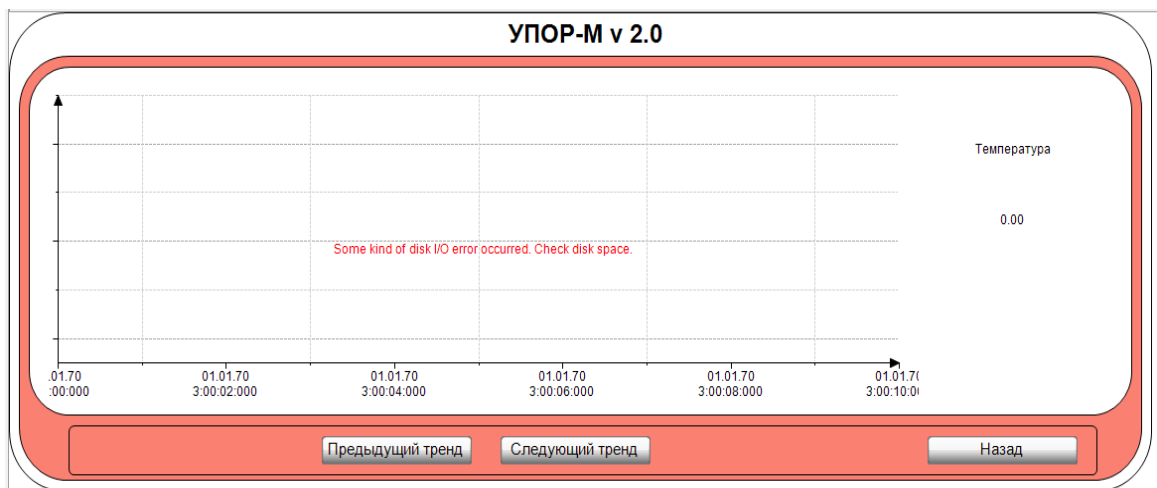


Рисунок 5.25 – Окно отображения графиков процесса секции 1

Для трех оставшихся секций настройка параметров, выбор метода, запуск процесса сушки, отображения графиков отображается аналогично за исключением изменения цвета каждой секции для удобства восприятия и ориентирования. Удаленное управление осуществляется по сети Ethernet, позволяющее контролировать и управлять процессом обезвоживания продукта.

5.8 Разработка математической модели установки УПОР-М

В рамках исследования проведена структурная и параметрическая идентификация установки УПОР-М. Структура установки представлена на рисунке 5.26.



Рисунок 5.26 – Структура модели УПОР-М

Входными параметрами модели являются мощность подаваемая к ТЭН $V_{тэн}(p)$, температура окружающей среды $T_{окр}(p)$ и производительность вытяжного вентилятора $F_{вен}(p)$. Выходом модели является температура в секции установки.

Идентификация параметров модели объекта производилась при помощи итерационных методов с применением интегрального критерия J :

$$J = \int_{t_1}^{t_2} |T_{к}^o(t) - T_{мод}^o(t)| dt, \quad (30)$$

где t_1, t_2 – начало и окончание переходного процесса соответственно;

$T_{к}^o(t)$ – значение температуры греющей среды в момент времени t ;

$T_{.мод}^o(t)$ – значение выхода модели объекта в момент времени t .

Параметры математической модели секции УПОР-М (рисунок 5.27) определены по экспериментальным данным в программном средстве "Построение графиков по данным в формате .ods и моделирование объекта" [125].

Канал по производительности вытяжного вентилятора описан звеном первого порядка, канал по нагреву описан звеном второго порядка.

В модели неизвестными параметрами передаточных функций $W_1(p)$ и $W_2(p)$ являются K_1 , K_2 , T_1 , T_2 , T_3 .

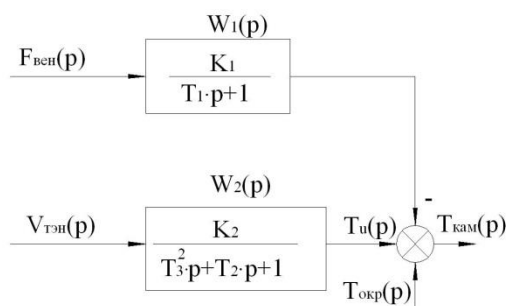


Рисунок 5.27 – Математическая модель камеры УПОР-М

Параметрическая идентификация проведена на основании серии экспериментов, в ходе которых на один из входов объекта подавался ступенчатый сигнал, а остальные входы имели неизменные входные сигналы.

Экспериментальная часть исследования связана с получением переходных характеристик по нагреву при воздействии на исполнительный механизм с пятнадцатипроцентной, тридцатипроцентной, сорокапятипроцентной и шестидесятипроцентной мощностью ТЭН при работающем на полную производительность рециркуляционным вентилятором.

Установление статического режима в секции установки сопровождалось включением вытяжного вентилятора на тридцать три процента, шестьдесят шесть процентов, сто процентов производительности.

Результаты экспериментов и моделирования представлены на рисунке 5.28. Математическая модель с полученными параметрами изображена на рисунке 5.29.

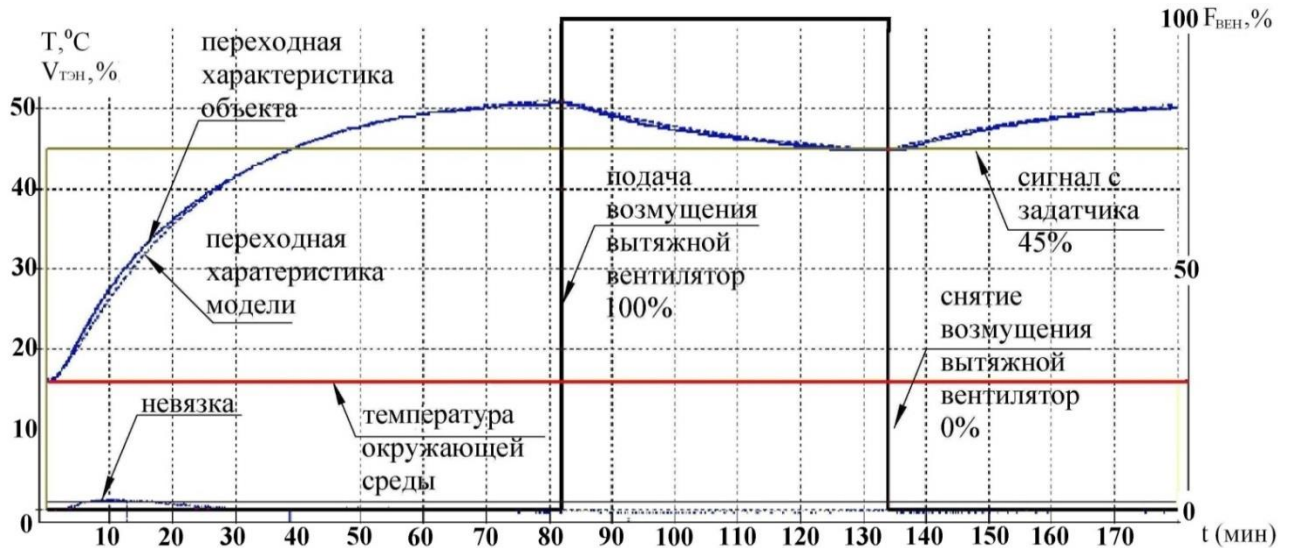


Рисунок 5.28 – Графики переходных процессов при идентификации параметров математической модели установки УПОР-М

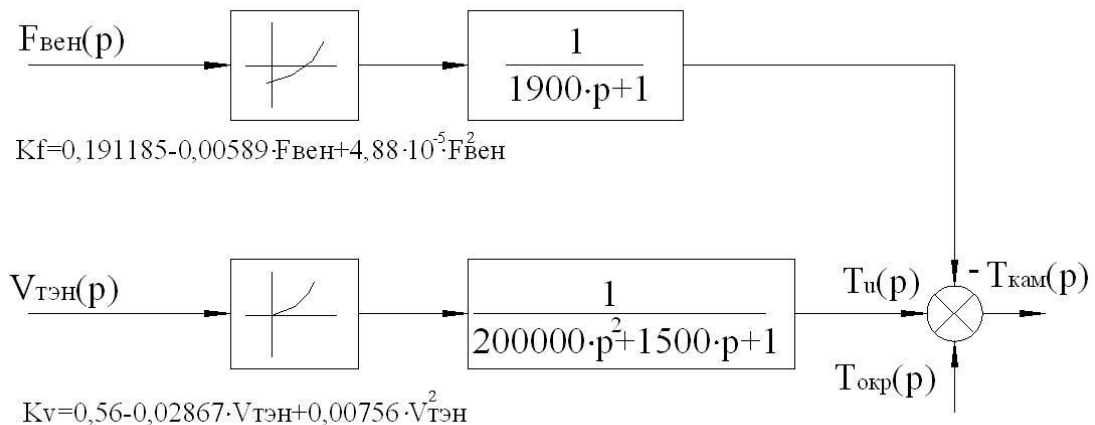


Рисунок 5.29 – Математическая модель камеры УПОР-М

По результатам анализа переходных процессов, полученных в ходе численных экспериментов (максимальная относительная ошибка аппроксимации не превышает 2%), сделан вывод о том, что для этапа нагрева камеры УПОР-М найдено достаточное для оптимизации регулятора математическое описание.

Выводы по 5 главе

Приведена практическая реализация результатов исследований тепловой обработки водных биоресурсов Арктики в коптильно-сушильных установках.

Предложена иерархическая структура автоматизированной системы управления процессом копчения пищевых продуктов.

Разработана и модернизирована система автоматического управления универсальной коптильно-сушильной установкой.

Проведено моделирование системы автоматического управления процессом копчения пищевых продуктов.

«Цифровая сертификация» энергоэффективных режимов обезвоживания сырья с применением цифровых двойников. Разработана и модернизирована малогабаритная установка для поиска оптимальных технологических режимов релаксации сырья, проведено ее математическое моделирование. Предложена методика построения энергоэффективных режимов релаксации в ходе процесса обезвоживания рыбного сырья, методика оптимизации режимов релаксации и методика «цифровой сертификации» энергоэффективных режимов обезвоживания сырья с применением цифровых двойников.

ГЛАВА 6. Исследование систем управления процессами тепловой обработки водных биоресурсов арктики с использованием интеллектуальных технологий

При разработке систем автоматизации технологических процессов переработки водных биологических ресурсов были созданы подсистемы на основе интеллектуальных технологий [3, 8]:

- нечеткая экспертная подсистема оценки качества консервов;
- регулятор Fuzzy-ПИД системы автоматического управления процессом холодной сушки;
- нейросетевой контроллер с прогнозированием системы автоматического управления процессом пастеризации;
- контроллер с прогнозированием системы автоматического управления процессом копчения пищевых продуктов.

6.1 Нечеткая экспертная подсистема оценки качества консервов

В рамках исследования и упрощения проведения процедуры органолептической оценки качества консервов разработана нечеткая экспертная система [74, 213, 219].

Нечеткая система использует правила логического вывода, которые сформулированы на основе базы знаний (рисунок 6.1). Для построения базы знаний использовался обобщенный опыт работников учебно-экспериментального цеха МГТУ.

Для формирования правил нечеткого логического вывода следует ввести определенные лингвистические переменные и значения, которые они могут принимать значения, представленные в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Экспертная система оценка качества консервов

Показатель	Балл	ЛП	Характеристика
Вкус Taste	4,9	Ex _{Taste}	Приятный, свойственный консервам из печени рыб, без привкусов йода и горечи, без неприятного послевкусия
	3,92	Good _{Taste}	Приятный, без привкуса горечи, имеется слабый привкус йода или приятный вкус консервов несколько ослаблен
	2,94	Sat _{Taste}	Ощущается слабый привкус горечи или приятный вкус консервов выражен слабо, послевкусие горечи отсутствует
	1,96	Bad _{Taste}	Заметен привкус горечи или консервы имеют неприятный или посторонний вкус, имеется послевкусие горечи
Запах Smell	3,4	Ex _{Smell}	Приятный, свойственный консервам из печени рыб, с лёгким ароматом перца и лаврового листа
	2,72	Good _{Smell}	Приятный, слегка усиленный аромат пряностей или ослабленный аромат самих консервов
	2,04	Sat _{Smell}	Чрезмерный аромат пряностей или полное его отсутствие, отсутствие приятного аромата печени рыб, слегка ощущается слабый запах окислившегося жира
	1,36	Bad _{Smell}	Неприятный запах или выраженный запах окислившегося жира
Консистенция Consist	2,9	Ex _{Consist}	Сочная, нежная
	2,32	Good _{Consist}	Слегка жестковатая или, наоборот, немного ослабленная
	1,74	Sat _{Consist}	Существенно жёсткая или слишком мягкая
	1,16	Bad _{Consist}	Твёрдая, трудно пережёвываемая или, наоборот, пастообразная
Состояние продукта Condition	2,45	Ex _{Sost_prod}	Печень целая или в виде кусочков, крошки в жировом отстое отсутствуют
	1,96	Good _{Sost_prod}	Печень в виде кусочков, имеются единичные крошки, находящиеся на дне банки
	1,47	Sat _{Sost_prod}	Имеется некоторое количество крошек в жире
	0,98	Bad _{Sost_prod}	Печень раскрошена
Цвет печени Prod_color	1,95	Attract _{Prod_color}	Кремовый или сероватый, равномерный
	1,56	Good _{Prod_color}	Недостаточно равномерный, кремовый или сероватый
	1,17	Sat _{Prod_color}	Неравномерный кремовый
	0,78	Unsat _{Prod_color}	Другого цвета (серый, темно-коричневый, черноватый, с зеленью)
Цвет жира Fat_color	4,4	Ex _{Fat_color}	Соломенный
	3,52	Good _{Fat_color}	Светло-жёлтый
	2,64	Sat _{Fat_color}	Жёлтый
	1,76	Bad _{Fat_color}	Темно-жёлтый или коричневый

После введения лингвистических переменных и задания их терм-множеств конкретизируются функции принадлежности каждой лингвистической переменной соответствующему терм-множеству.

Формализация лингвистических переменных представлена в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Формализация лингвистических переменных

Показатель	ЛП	Терм множество при σ_1, c_1	Терм множество при σ_2, c_2
Вкус Taste [0.98 4.9]	Ex Taste	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-4,77)^2}{2 \cdot 0,4439^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-5,03)^2}{2 \cdot 0,4439^2}}$
	Good Taste	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-3,462)^2}{2 \cdot 0,4439^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-3,724)^2}{2 \cdot 0,4439^2}}$
	Sat Taste	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-2,156)^2}{2 \cdot 0,4439^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-2,418)^2}{2 \cdot 0,4439^2}}$
	Bad Taste	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-0,8494)^2}{2 \cdot 0,4439^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-1,11)^2}{2 \cdot 0,4439^2}}$
Запах Smell [0.68 3.4]	Ex Smell	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-3,309)^2}{2 \cdot 0,308^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-3,491)^2}{2 \cdot 0,308^2}}$
	Good Smell	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-2,403)^2}{2 \cdot 0,308^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-2,584)^2}{2 \cdot 0,308^2}}$
	Sat Smell	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-1,496)^2}{2 \cdot 0,308^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-1,677)^2}{2 \cdot 0,308^2}}$
	Bad Smell	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-0,5893)^2}{2 \cdot 0,308^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-0,7707)^2}{2 \cdot 0,308^2}}$
Консистенция Consist [0.58 2.9]	Ex Consist	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-2,823)^2}{2 \cdot 0,2676^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-2,977)^2}{2 \cdot 0,2676^2}}$
	Good Consist	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-2,049)^2}{2 \cdot 0,2676^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-2,204)^2}{2 \cdot 0,2676^2}}$
	Sat Consist	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-1,276)^2}{2 \cdot 0,2676^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-1,431)^2}{2 \cdot 0,2676^2}}$
	Bad Consist	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-0,5027)^2}{2 \cdot 0,2676^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-0,6573)^2}{2 \cdot 0,2676^2}}$
Состояние продукта Condition [0.49 2.45]	Ex Condition	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-2,385)^2}{2 \cdot 0,222^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-2,515)^2}{2 \cdot 0,222^2}}$
	Good Condition	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-1,731)^2}{2 \cdot 0,222^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-1,862)^2}{2 \cdot 0,222^2}}$
	Sat Condition	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-1,078)^2}{2 \cdot 0,222^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-1,209)^2}{2 \cdot 0,222^2}}$
	Bad Condition	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-0,4247)^2}{2 \cdot 0,222^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-0,5553)^2}{2 \cdot 0,222^2}}$
Цвет печени Prod_color [0,39;1,95]	Attract Prod_color	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-1,897)^2}{2 \cdot 0,1766^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-2,004)^2}{2 \cdot 0,1766^2}}$
	Good Prod_color	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-1,377)^2}{2 \cdot 0,1766^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-1,482)^2}{2 \cdot 0,1766^2}}$
	Sat Prod_color	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-0,858)^2}{2 \cdot 0,1766^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-0,9625)^2}{2 \cdot 0,1766^2}}$

	Unsat _{Prod_color}	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-0,338)^2}{2 \cdot 0,1766^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-0,4415)^2}{2 \cdot 0,1766^2}}$
Цвет жира Fat_color [0.88 4.4]	Ex _{Fat_color}	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-4,283)^2}{2 \cdot 0,3985^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-4,516)^2}{2 \cdot 0,3985^2}}$
	Good _{Fat_color}	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-3,109)^2}{2 \cdot 0,3985^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-3,344)^2}{2 \cdot 0,3985^2}}$
	Sat _{Fat_color}	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-1,936)^2}{2 \cdot 0,3985^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-2,171)^2}{2 \cdot 0,3985^2}}$
	Bad _{Fat_color}	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-0,7627)^2}{2 \cdot 0,3985^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-0,997)^2}{2 \cdot 0,3985^2}}$
Качество Quality [0.5 5.5]	Ex _{Quality}	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-5,331)^2}{2 \cdot 0,5663^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-5,669)^2}{2 \cdot 0,3985^2}}$
	Good _{Quality}	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-3,669)^2}{2 \cdot 0,5663^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-4)^2}{2 \cdot 0,3985^2}}$
	Sat _{Quality}	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-2)^2}{2 \cdot 0,5663^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-2,331)^2}{2 \cdot 0,3985^2}}$
	Bad _{Quality}	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-0,3312)^2}{2 \cdot 0,5663^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{-\frac{(x-0,6687)^2}{2 \cdot 0,3985^2}}$

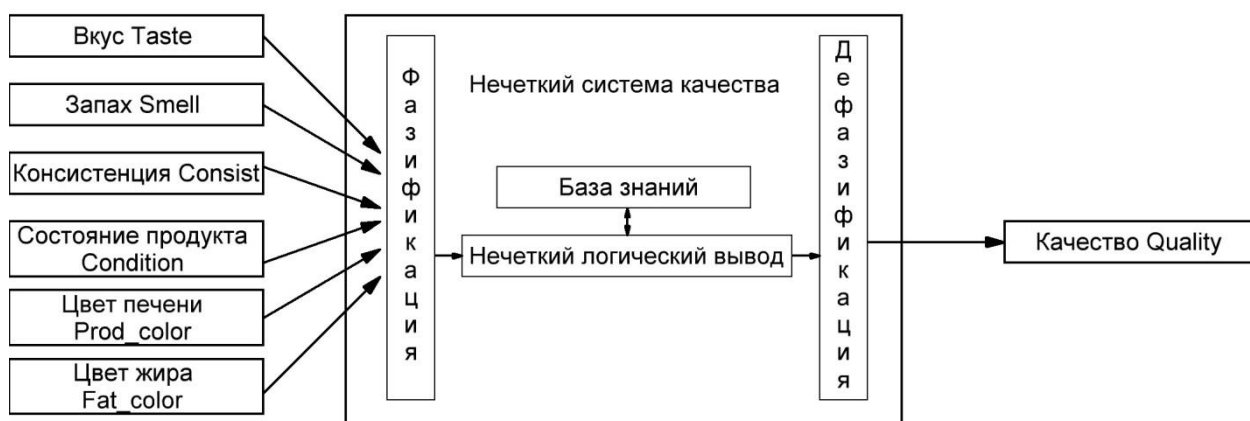


Рисунок 6.1 – Нечеткая экспертная подсистема оценки качества консервов

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 6.2.



Рисунок 6.2 – Нечеткая экспертная система оценки качества консервов

Автоматические измерения в такой системе осуществляются с применением датчиков, виртуальных сенсоров в процессе тепловой обработки сырья. Входной контроль качества сырья производится 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.

6.2 Управление с прогнозирующими моделями контура температуры универсальной копильно-сушильной установки

В данной работе для процесса копчения пищевых продуктов предлагается использовать систему автоматического управления с прогнозированием. Данный процесс обладает перекрестными связями и отличается наличием случайных возмущений.

Рассмотрим контур регулирования температуры в процессе копчения пищевых продуктов. Объектом управления является коптильная камера, регулируемым параметром – температура процесса копчения. Начальная температура в камере составляет 10 градусов Цельсия, что в среднем отражает показания температуры учебно-экспериментального цеха МГТУ. В данной работе исследуется моделирование холодного копчения, с заданной температурой процесса 20 градусов Цельсия. Идентификация параметров модели коптильной камеры подробно приведена в исследовании доцента кафедры АиВТ МГТУ Вискова А.Ю [12].

Моделирование контура регулирования температуры системы автоматического управления процессом копчения пищевых продуктов проведено в среде MatLab. Структурная схема при моделировании процесса представлена на рисунке 6.3. В данной схеме используется ПИД-регулятор, коэффициенты которого являются оптимальными по интегральной оценке J рассчитываемой как интеграл модуля от рассогласования. За время моделирования интегральная оценка составила 117,7 единиц.

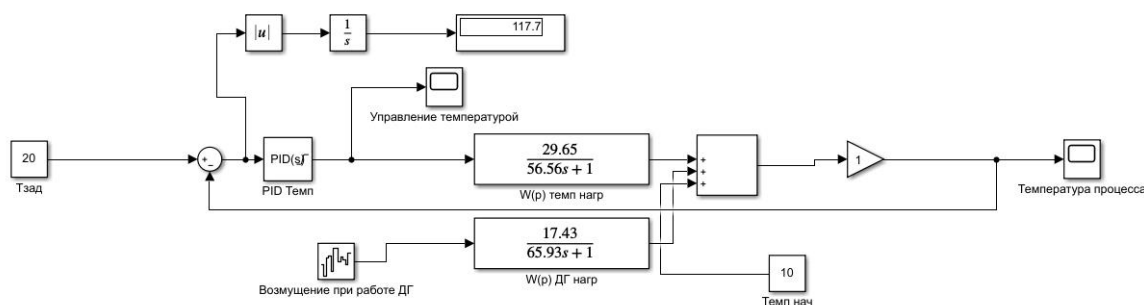


Рисунок 6.3 – Структурная схема при моделировании контура регулирования температуры с ПИД-регулятором процесса копчения пищевых продуктов.

Весь процесс моделирования занимает 300 модельных расчетных единиц. В структурной схеме воздействие от дымогенератора подается в качестве случайного возмущения с интервалом 100 модельных расчетных единиц.

Рассмотрим графики переходных процессов при моделировании контура регулирования температуры с ПИД-регулятором (рисунок 6.4).

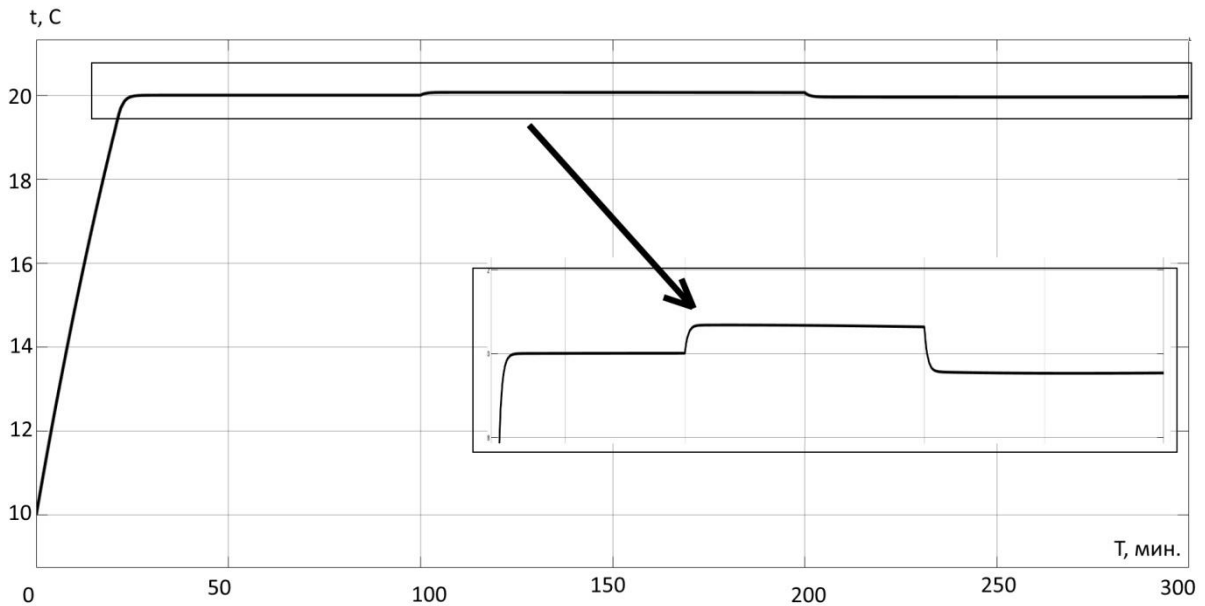


Рисунок 6.4 – Графики переходных процессов при моделировании контура регулирования температуры с ПИД-регулятором

Из графиков переходных процессов видно, что ПИД-регулятор наилучшим образом обрабатывает заданное воздействие, при этом подавление возмущающего воздействия происходит недостаточно эффективно (от 100 до 200 модельных расчетных единиц).

Рассмотрим подход создания систем управления с прогнозированием (MPC – model predictive control), который предполагает использование прогнозирующих моделей. В контур регулирования температуры процесса копчения пищевых продуктов вместо ПИД-регулятора установлен MPC-регулятор (рисунок 6.5). Оценка настройки MPC-регулятора производилась с помощью интегральной оценки J , рассчитываемой как интеграл модуля от рассогласования. За время моделирования интегральная оценка составила 106,3 единиц.

Рассмотрим графики переходных процессов при моделировании контура регулирования температуры с MPC-регулятором (рисунок 6.6). Из графиков переходных процессов видно, что MPC-регулятор обрабатывает задающее воздействие наилучшим образом, а также эффективно подавляет возмущающее воздействие.

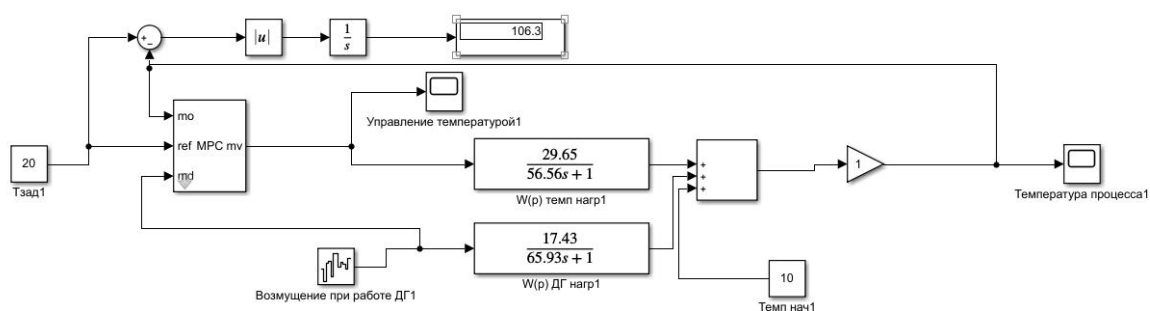


Рисунок 6.5 – Структурная схема при моделировании контура регулирования температуры с MPC-регулятором процесса копчения пищевых продуктов.

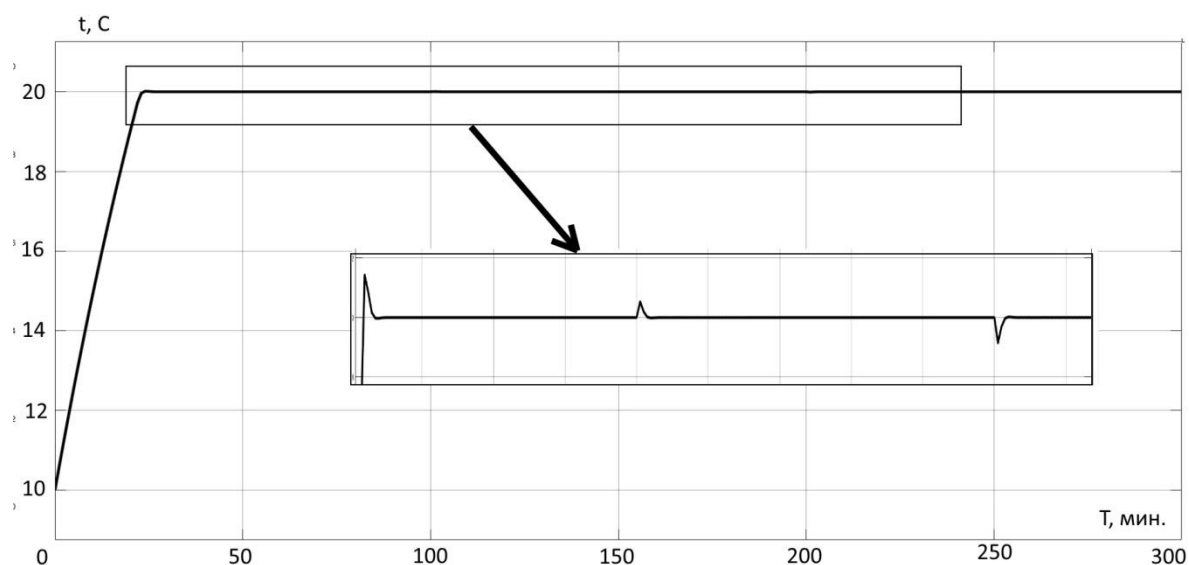


Рисунок 6.6 – Графики переходных процессов при моделировании контура регулирования температуры с MPC-регулятором

Сравнение по интегральной оценке J показало чуть более высокую эффективность работы MPC-регулятора за счет более качественной компенсации подачи возмущающего воздействия.

Проведенное моделирование переходных процессов показало, что применение MPC-регуляторов обеспечивает высокое качество регулирования технологических параметров. Особенностью MPC-подхода можно считать слабую математическую обоснованность, определяемую изначальной практической ориентацией на решение задач управления для объектов с недостаточно изученными или сложными для применения математическими

моделями, а также высокий уровень требований, предъявляемых к вычислительным ресурсам цифровых устройств, обеспечивающих применение законов управления в режиме реального времени.

6.3 Нейросетевой прогнозирующий регулятор контура температуры универсальной копильно-сушильной установки

В данной работе для процесса копчения пищевых продуктов предлагается использовать систему автоматического управления с нейросетевым прогнозирующим регулятором. Процесс копчения пищевых продуктов обладает перекрестными связями и отличается наличием случайных возмущений.

Для управления контуром температуры процесса копчения создана нейронная сеть [42, 113, 186], представленная на рисунке 6.7.

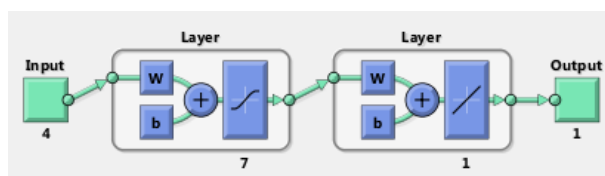


Рисунок 6.7 – Нейронная сеть для процесса копчения

Обучение нейронной сети производилось с применением Байесовского машинного обучения [35].

Контур для обучения выбран в соответствии моделью, представленной на рисунке 6.8.

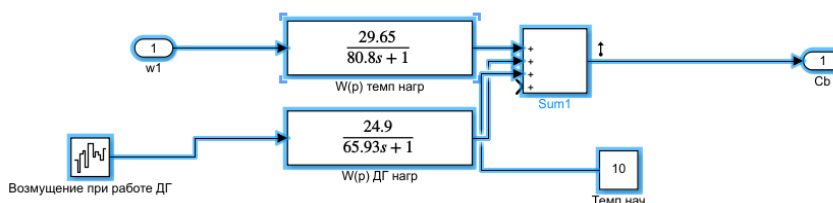


Рисунок 6.8 – Модель контура температуры для обучения нейронной сети

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.

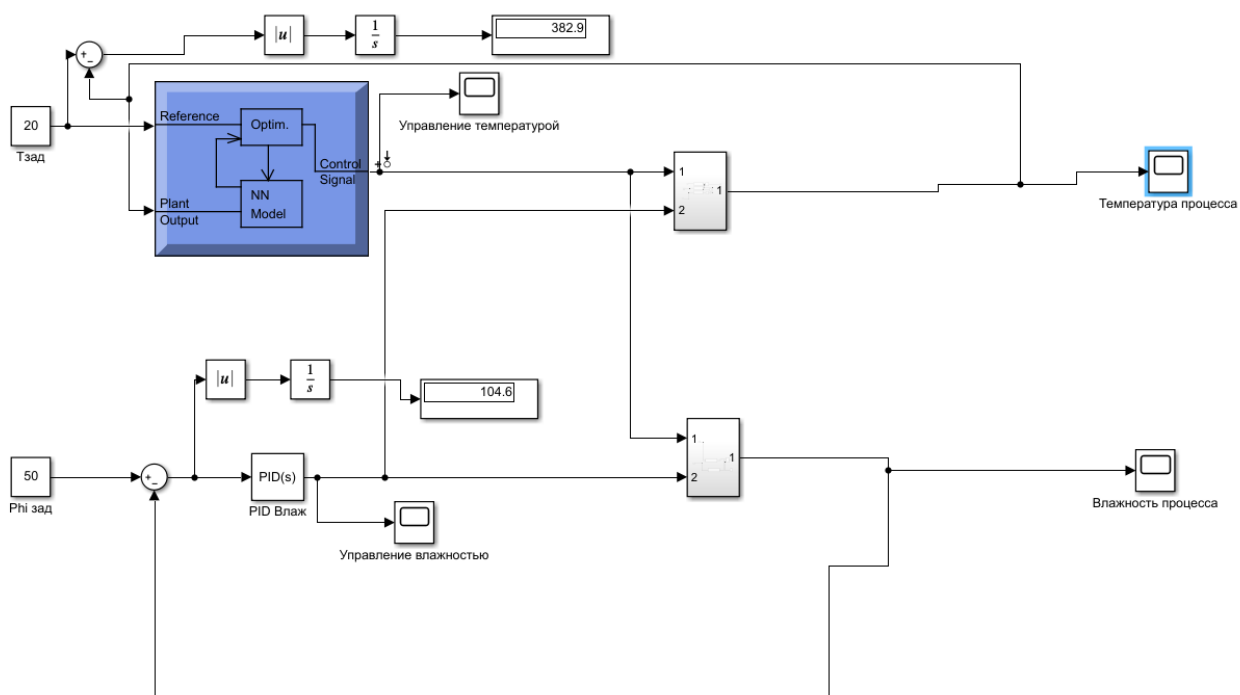


Рисунок 6.9 – Структурная схема при моделировании контура регулирования температуры с нейросетевым регулятором процесса копчения пищевых продуктов

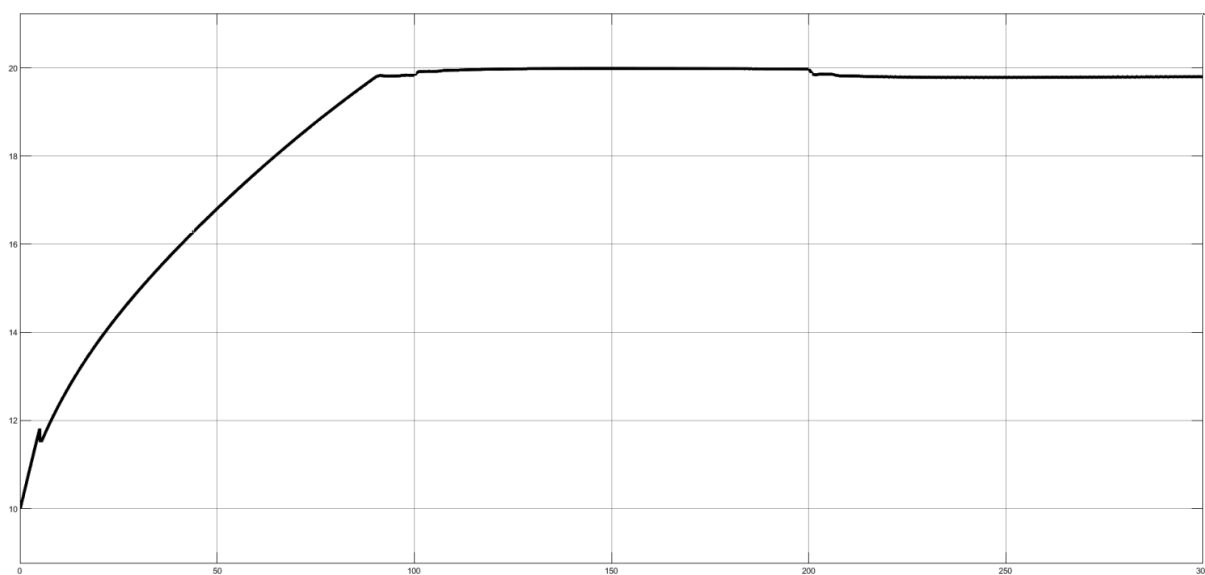


Рисунок 6.10 – Графики переходных процессов при моделировании контура регулирования температуры с нейросетевым регулятором

6.4 Нейросетевой прогнозирующий регулятор контура температуры малогабаритной сушильной установки

В данной работе для процесса обезвоживания пищевых продуктов 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.

Обучение нейронной сети производилось с применением Байесовского машинного обучения.

Контур для обучения был выбран в соответствии моделью, представленной на рисунке 6.11.

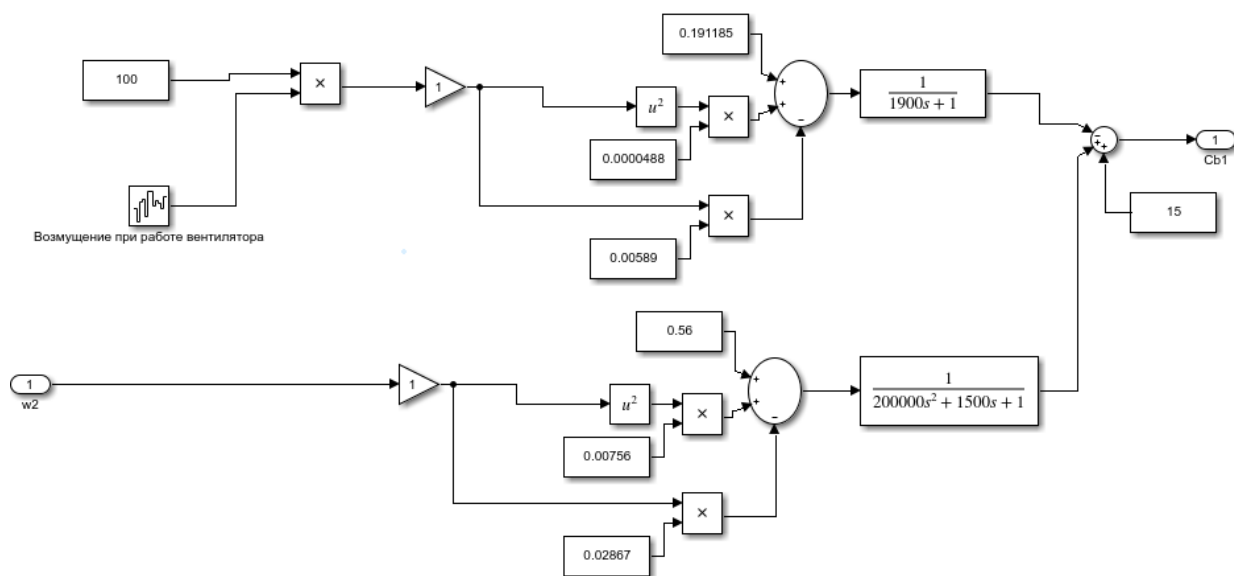


Рисунок 6.11 – Модель контура температуры для обучения нейронной сети

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.

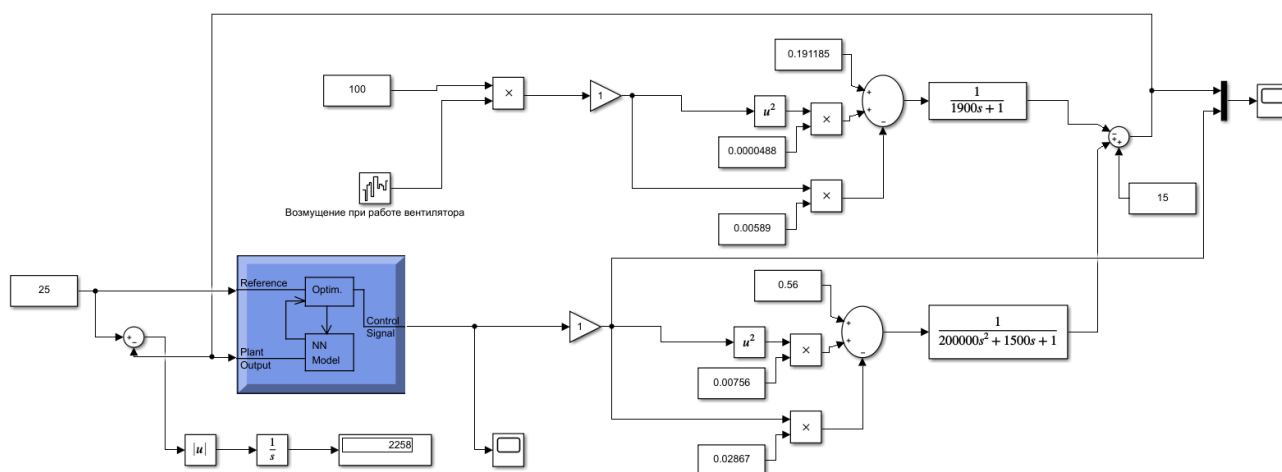


Рисунок 6.12 – Структурная схема при моделировании контура регулирования температуры с нейросетевым регулятором процесса обезвоживания пищевых продуктов.

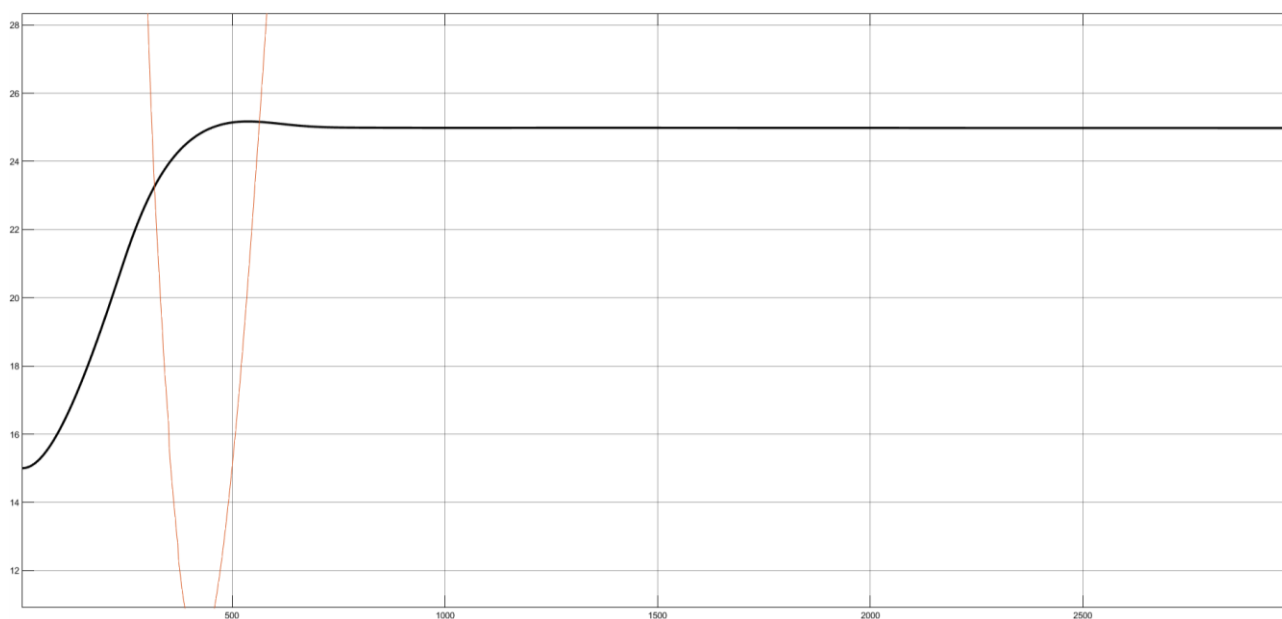


Рисунок 6.13 – Графики переходных процессов при моделировании контура регулирования температуры с нейросетевым регулятором

Применение прогнозирующих регуляторов показало эффективность работы контуров управления по температуре. Регуляторы эффективно обрабатывают задающее воздействие, а также эффективно подавляют возмущающее воздействие.

6.5 Управление с прогнозирующими моделями контура температуры малогабаритной сушильной установки

В данной работе для процесса обезвоживания пищевых продуктов предлагается использовать систему автоматического управления с прогнозированием. Данный процесс обладает перекрестными связями и отличается наличием случайных возмущений.

Рассмотрим контур регулирования температуры в процессе копчения пищевых продуктов. Объектом управления является сушильная камера, регулируемым параметром – температура процесса обезвоживания. Начальная температура в камере составляет 15 градусов Цельсия, что в среднем отражает показания температуры учебно-экспериментального цеха МГТУ. Для моделирования примем, что в данной работе исследуется холодная сушка, с заданной температурой процесса 25 градусов Цельсия.

Для управления процессом предложено реализовать управление с прогнозирующими моделями для контура температуры малогабаритной сушильной установки. Оценка настройки регулятора производилась с помощью интегральной оценки J , рассчитываемой как интеграл модуля от рассогласования. Графики переходных процессов при моделировании контура регулирования температуры с МРС-регулятором представлены на рисунке 6.14. Из графиков переходных процессов видно, что МРС-регулятор наилучшим образом отрабатывает заданное воздействие, при этом подавляет возмущающее воздействие с высокой степенью эффективности.

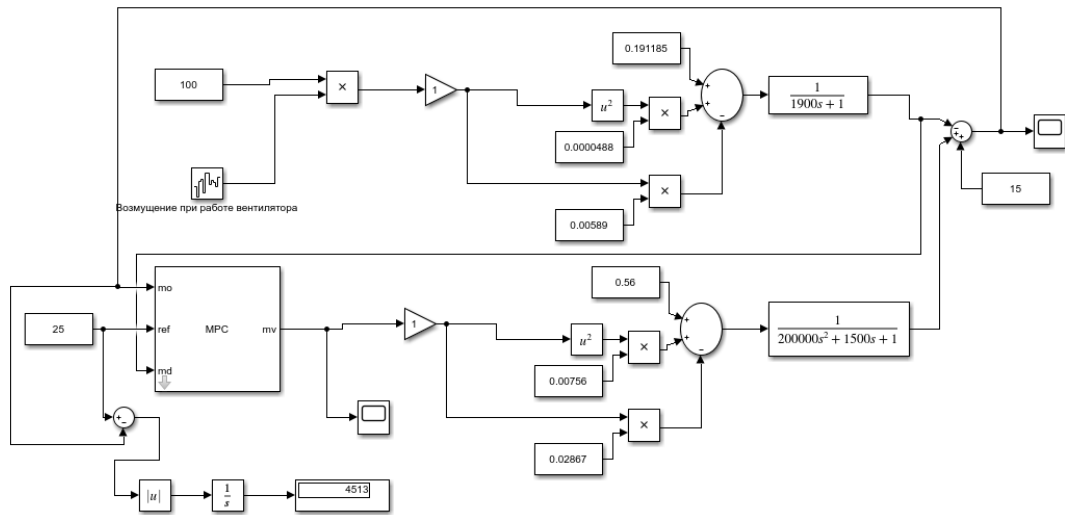


Рисунок 6.14 – Структурная схема при моделировании контура регулирования температуры с MPC-регулятором процесса обезвоживания пищевых продуктов.

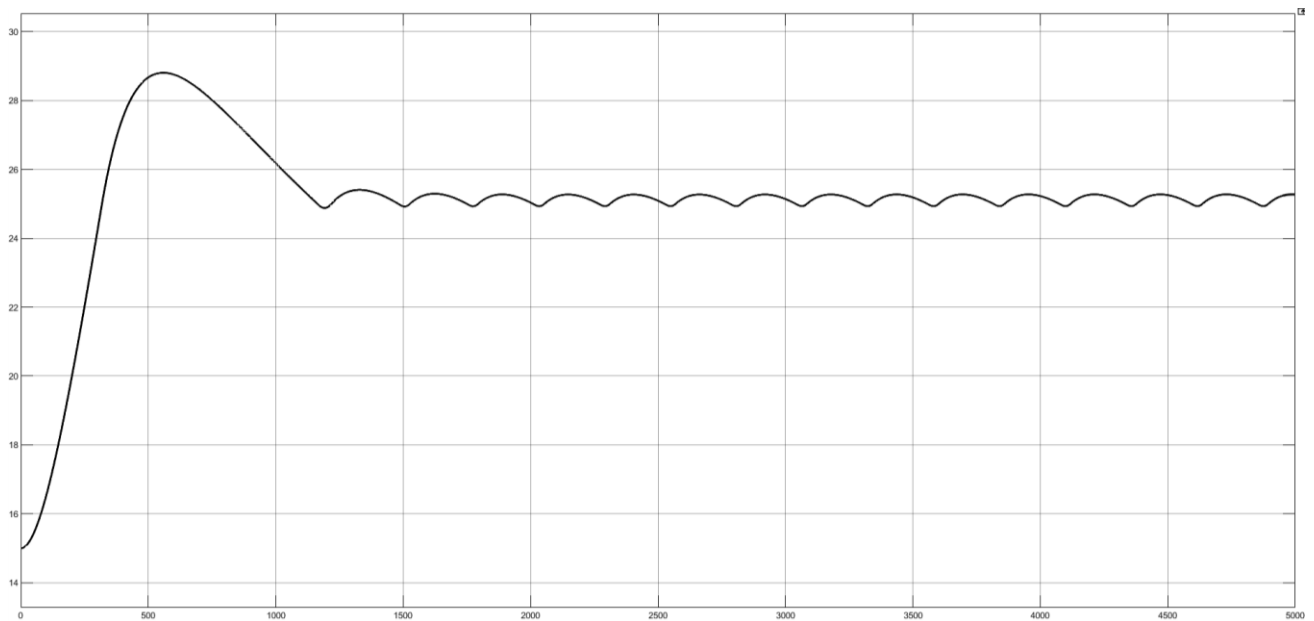


Рисунок 6.15 – Графики переходных процессов при моделировании контура регулирования температуры с MPC-регулятором

6.6 Управление с применением пид-регулятора с нечеткой коррекцией коэффициентов контура температуры малогабаритной сушильной установки

Нечеткая система использует правила логического вывода, которые сформулированы на основе базы знаний. Для построения базы знаний использовался обобщенный опыт работников кафедры АиВТ МГТУ.

Для формирования правил нечеткого логического вывода введены лингвистические переменные и значения, которые они могут принимать (таблица 6.3).

Таблица 6.3 – Система нечеткого логического вывода коррекции коэффициентов ПИД-регулятора

Показатель	ЛП	Характеристика
Кр	$h_{Кр}$	Высокий уровень Кр
	$m_{Кр}$	Средний уровень Кр
	$l_{Кр}$	Низкий уровень Кр
	$0_{Кр}$	Кр близкий к 0
	$l_{Кр}$	Низкий уровень Кр
	$m_{Кр}$	Средний уровень Кр
	$h_{Кр}$	Высокий уровень Кр
Тi	$h_{Тi}$	Высокий уровень Тi
	$m_{Тi}$	Средний уровень Тi
	$l_{Тi}$	Низкий уровень Тi
	$0_{Тi}$	Кр близкий к 0
	$-l_{Тi}$	Низкий уровень Тi при отрицательном рассогласовании
	$-m_{Тi}$	Средний уровень Тi при отрицательном рассогласовании
	$-h_{Тi}$	Высокий уровень Тi при отрицательном рассогласовании
Тd	$h_{Тd}$	Высокий уровень Тd
	$m_{Тd}$	Средний уровень Тd
	$l_{Тd}$	Низкий уровень Тd
	$0_{Тd}$	Кр близкий к 0
	$-l_{Тd}$	Низкий уровень Тd при отрицательном рассогласовании
	$-m_{Тd}$	Средний уровень Тd при отрицательном рассогласовании
	$-h_{Тd}$	Высокий уровень Тd при отрицательном рассогласовании
Et	30_{Et}	Высокий уровень Et
	20_{Et}	Средний уровень Et
	10_{Et}	Низкий уровень Et
	0_{Et}	Кр близкий к 0
	-10_{Et}	Низкий уровень Et при отрицательном рассогласовании
	-20_{Et}	Средний уровень Et при отрицательном рассогласовании
	-30_{Et}	Высокий уровень Et при отрицательном рассогласовании

Нечеткие значения выходных переменных K_p , T_i , T_d определяются на основе следующих правил логического вывода:

R1: IF Et is 0 , THEN K_p is 0 & T_i is 0 & T_d is 0;

R2: IF Et is -10 , THEN K_p is -l & T_i is -h & T_d is -l;

R3: IF Et is -20 , THEN K_p is -m & T_i is -m & T_d is -m;

R4: IF Et is -30 , THEN K_p is -h & T_i is -l & T_d is -h;

R5: IF Et is 10 , THEN K_p is l & T_i is h & T_d is l;

R6: IF Et is 20 , THEN K_p is m & T_i is m & T_d is m;

R7: IF Et is 30 , THEN K_p is h & T_i is l & T_d is h;

Правила также представлены в виде таблицы 6.4.

Таблица 6.4 – Правила логического вывода

		K_p	T_i	T_d
Et	30 Et	h K_p	l T_i	h T_d
	20 Et	m K_p	m T_i	m T_d
	10 Et	l K_p	h T_i	l T_d
	0 Et	0 Et	0 Et	0 Et
	-10 Et	-l K_p	-h T_i	-l T_d
	- 20 Et	-m K_p	-m T_i	-m T_d
	-30 Et	-h K_p	-l T_i	-h T_d

Формализация лингвистических переменных представлена в таблице 6.5.

Таблица 6.5 – Формализация лингвистических переменных

Показатель	ЛП	Терм множество при σ_1, c_1	Терм множество при σ_2, c_2
K_p [0 5]	h K_p	$f(x; \sigma, c) = e^{-\frac{(x-4,909)^2}{2 \cdot 0,2834^2}}$	$f(x; \sigma, c) = e^{-\frac{(x-5,095)^2}{2 \cdot 0,2834^2}}$
	m K_p	$f(x; \sigma, c) = e^{-\frac{(x-4,092)^2}{2 \cdot 0,2834^2}}$	$f(x; \sigma, c) = e^{-\frac{(x-4,25)^2}{2 \cdot 0,2834^2}}$
	l K_p	$f(x; \sigma, c) = e^{-\frac{(x-3,23)^2}{2 \cdot 0,2834^2}}$	$f(x; \sigma, c) = e^{-\frac{(x-3,39)^2}{2 \cdot 0,2834^2}}$
	0 K_p	$f(x; \sigma, c) = e^{-\frac{(x-2,417)^2}{2 \cdot 0,2834^2}}$	$f(x; \sigma, c) = e^{-\frac{(x-2,587)^2}{2 \cdot 0,2834^2}}$
	- l K_p	$f(x; \sigma, c) = e^{-\frac{(x-1,585)^2}{2 \cdot 0,2834^2}}$	$f(x; \sigma, c) = e^{-\frac{(x-1,75)^2}{2 \cdot 0,2834^2}}$

	- m _{Kp}	$f(x;\sigma,c)=e^{\frac{-(x-0.75)^2}{2 \cdot 0,2834^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{\frac{-(x-0.9156)^2}{2 \cdot 0,2834^2}}$
	- h _{Kp}	$f(x;\sigma,c)=e^{\frac{-(x+0.0825)^2}{2 \cdot 0,2834^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{\frac{-(x-0.083)^2}{2 \cdot 0,2834^2}}$
Ti [0 0.05]	h _{Ti}	$f(x;\sigma,c)=e^{\frac{-(x-0.04916)^2}{2 \cdot 0.00283^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{\frac{-(x-0.05085)^2}{2 \cdot 0.00283^2}}$
	m _{Ti}	$f(x;\sigma,c)=e^{\frac{-(x-0.04083)^2}{2 \cdot 0.00283^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{\frac{-(x-0.0425)^2}{2 \cdot 0.00283^2}}$
	l _{Ti}	$f(x;\sigma,c)=e^{\frac{-(x-0.0325)^2}{2 \cdot 0.00283^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{\frac{-(x-0.03416)^2}{2 \cdot 0.00283^2}}$
	0 _{Ti}	$f(x;\sigma,c)=e^{\frac{-(x-0.02417)^2}{2 \cdot 0.00283^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{\frac{-(x-0.02583)^2}{2 \cdot 0.00283^2}}$
	-l _{Ti}	$f(x;\sigma,c)=e^{\frac{-(x-0.01583)^2}{2 \cdot 0.00283^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{\frac{-(x-0.0175)^2}{2 \cdot 0.00283^2}}$
	- m _{Ti}	$f(x;\sigma,c)=e^{\frac{-(x-0.0075)^2}{2 \cdot 0.00283^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{\frac{-(x-0.00916)^2}{2 \cdot 0.00283^2}}$
	-h _{Ti}	$f(x;\sigma,c)=e^{\frac{-(x+0.000825)^2}{2 \cdot 0.00283^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{\frac{-(x-0.000835)^2}{2 \cdot 0.00283^2}}$
Td [0 0.6]	h _{Td}	$f(x;\sigma,c)=e^{\frac{-(x-0.5901)^2}{2 \cdot 0.03396^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{\frac{-(x-0.6102)^2}{2 \cdot 0,03396^2}}$
	m _{Td}	$f(x;\sigma,c)=e^{\frac{-(x-0.4897)^2}{2 \cdot 0.03396^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{\frac{-(x-0.51)^2}{2 \cdot 0,03396^2}}$
	l _{Td}	$f(x;\sigma,c)=e^{\frac{-(x-0.39)^2}{2 \cdot 0.03396^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{\frac{-(x-0.4101)^2}{2 \cdot 0,03396^2}}$
	0 _{Td}	$f(x;\sigma,c)=e^{\frac{-(x-0.2899)^2}{2 \cdot 0.03396^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{\frac{-(x-0.3097)^2}{2 \cdot 0,03396^2}}$
	-l _{Td}	$f(x;\sigma,c)=e^{\frac{-(x-0.1899)^2}{2 \cdot 0.03396^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{\frac{-(x-0.21)^2}{2 \cdot 0,03396^2}}$
	- m _{Td}	$f(x;\sigma,c)=e^{\frac{-(x-0.09)^2}{2 \cdot 0.03396^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{\frac{-(x-0.11)^2}{2 \cdot 0,03396^2}}$
	-h _{Td}	$f(x;\sigma,c)=e^{\frac{-(x+0.0099)^2}{2 \cdot 0.03396^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{\frac{-(x-0.009994)^2}{2 \cdot 0,03396^2}}$
Et [0 0.3]	30 _{Et}	$f(x;\sigma,c)=e^{\frac{-(x-0.2949)^2}{2 \cdot 0,01698^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{\frac{-(x-0.3051)^2}{2 \cdot 0,01698^2}}$
	20 _{Et}	$f(x;\sigma,c)=e^{\frac{-(x-0.246)^2}{2 \cdot 0,01698^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{\frac{-(x-0.256)^2}{2 \cdot 0,01698^2}}$
	10 _{Et}	$f(x;\sigma,c)=e^{\frac{-(x-0.195)^2}{2 \cdot 0,01698^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{\frac{-(x-0.2049)^2}{2 \cdot 0,01698^2}}$
	0 _{Et}	$f(x;\sigma,c)=e^{\frac{-(x-0.145)^2}{2 \cdot 0,01698^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{\frac{-(x-0.1551)^2}{2 \cdot 0,01698^2}}$
	-10 _{Et}	$f(x;\sigma,c)=e^{\frac{-(x-0.0951)^2}{2 \cdot 0,01698^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{\frac{-(x-0.105)^2}{2 \cdot 0,01698^2}}$
	-20 _{Et}	$f(x;\sigma,c)=e^{\frac{-(x-0.045)^2}{2 \cdot 0,01698^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{\frac{-(x-0.0549)^2}{2 \cdot 0,01698^2}}$
	-30 _{Et}	$f(x;\sigma,c)=e^{\frac{-(x+0.0051)^2}{2 \cdot 0,01698^2}}$	$f(x;\sigma,c)=e^{\frac{-(x-0.0051)^2}{2 \cdot 0,01698^2}}$



Рисунок 6.16 – 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 6.17.

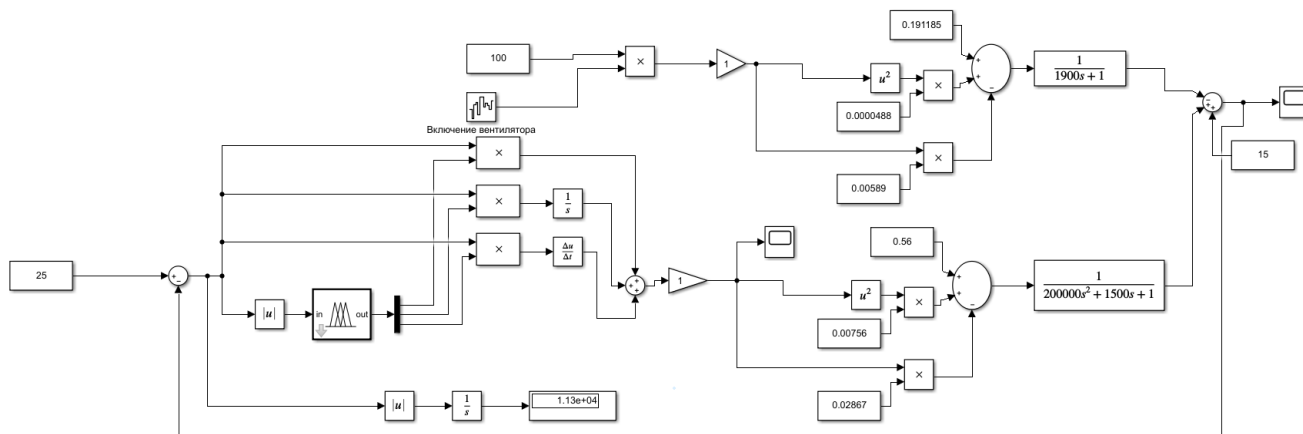


Рисунок 6.17 – Структурная схема при моделировании контура регулирования температуры с нечеткой системой коррекции коэффициентов ПИД-регулятора

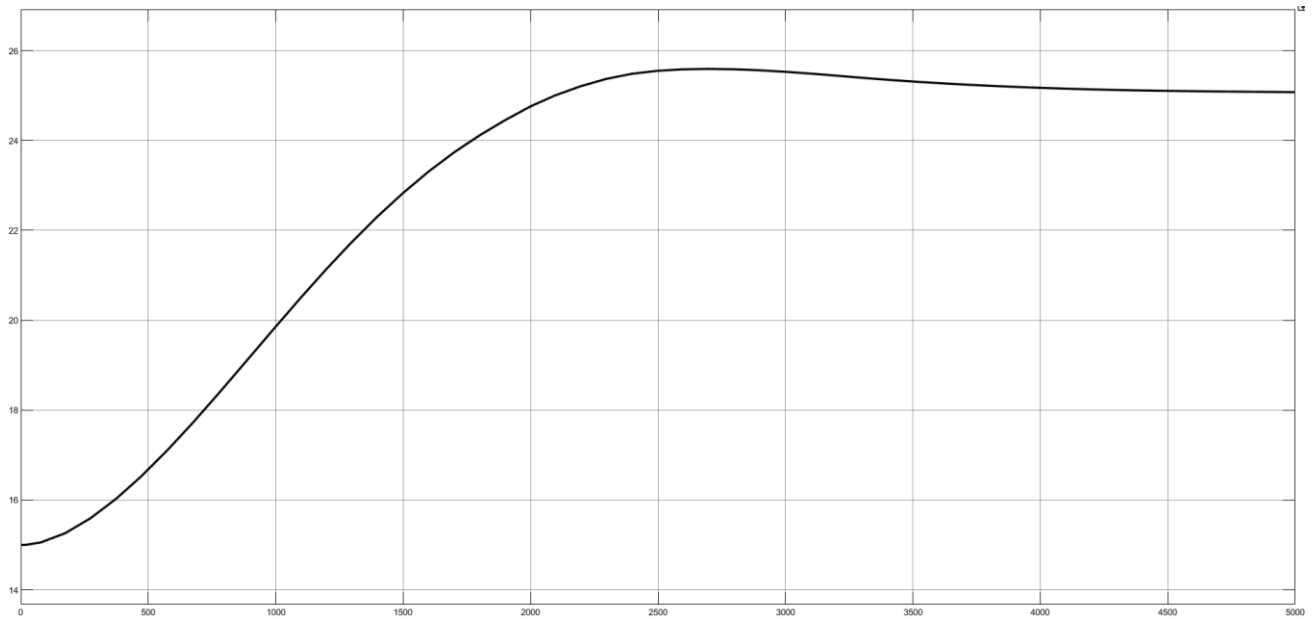


Рисунок 6.18 – Графики переходных процессов при моделировании контура регулирования температуры с нечеткой системой коррекции коэффициентов ПИД-регулятора

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.

Выводы по 6 главе

Проведено исследование систем управления процессами тепловой обработки водных биоресурсов Арктики с использованием интеллектуальных технологий. Предложена нечеткая экспертная подсистема оценки качества консервов.

Проведено моделирование процесса управления с прогнозирующими моделями контура температуры универсальной коптильно-сушильной установки, а также малогабаритной сушильной установки для поиска оптимальных технологических режимов.

Проведено моделирование контура температуры универсальной коптильно-сушильной установки, а также контура температуры малогабаритной сушильной установки с применением нейросетевой прогнозирующий регулятор

Проведено моделирование процесса управления с применением ПИД-регулятора с нечеткой коррекцией коэффициентов контура температуры малогабаритной сушильной установки.

Автор выражает благодарность за помощь в подготовке работы канд. техн. наук, профессору А.А. Маслову, доктору технических наук, профессору, заведующему кафедрой Технологий пищевых производств В.А. Гроховскому; доктору технических наук, профессору В.Н. Богатикову; доценту кафедры АиВТ канд.техн. наук Вискову Андрею Юрьевичу, доценту кафедры АиВТ МГТУ, канд.техн. наук А.В. Власову, заведующей лабораторией кафедры АиВТ Власовой А.Р., доценту кафедры АиВТ канд.техн. наук Селякову Илье Юрьевичу, 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 Курановой Л.К., канд. техн. наук Ершову М.А. за помощь в проведении экспериментов.

Общие выводы

1. В данной работе предложен способ управления тепловой обработкой консервов, основанный на прогнозировании F-эффекта. Такой способ может стать основой разработки щадящих энергоэффективных переменных режимов тепловой обработки продуктов.
2. Предложен способ управления тепловой обработкой при обезвоживании и копчении пищевых продуктов с прогнозированием H-эффекта. Введены понятия H-эффекта, как эффекта обезвоживания пищевых продуктов, а также C-эффекта – эффекта готовности продукта при обезвоживании по органолептическим показателям и внешнему виду. Прогнозирование эффекта обезвоживания позволит создавать режимы обезвоживания с наилучшими показателями по энергозатратам и качеству продукции.
3. Приведены результаты исследований тепловой обработки пищевых продуктов в автоклавах
4. Проведено исследование цифровых комплексов регистрации температуры, применяемых при научном обосновании режимов тепловой обработки продуктов питания в автоклавах.
5. Проведено исследование температурного поля автоклавов ASCAMAT-230 и АВК-30М, даны рекомендации по применению автоклавов при разработке режимов тепловой обработки
6. Проведено исследование режима стерилизации консервов «Печень трески натуральная при традиционном способе управления процессом». Данные температуры процесса стерилизации F-эффекта в банке Impress консервов позволяют получить математическое описание тепловых процессов и провести их оптимизацию.
7. Проведена идентификация параметров математической модели тепловых процессов в консервах «Печень трески натуральная» в банке Impress. Верификация полученных математических моделей показала их адекватность. Отклонение экспериментальных данных процессов от результатов численного моделирования не превышает пяти процентов.

8. Проведено исследование модернизированного и традиционного способов управления процессом стерилизации консервов и их сопоставление. Реализация модернизированного способа стерилизации показывает высокую энергетическую эффективность.
9. Проведена разработка режимов стерилизации консервов из гидробионтов с использованием средств вычислительной техники. Тестирование программного обеспечения для подбора режима стерилизации показало, что программа может использоваться для разработки режимов стерилизации консервов.
10. Приведена практическая реализация результатов исследований тепловой обработки водных биоресурсов Арктики в автоклавах. Подробно рассмотрен комплекс МИСТ и его модули: МИСТ.Автоматика, модуль МИСТ.проектирование_режима.
11. Описан процесс цифрового моделирования и оптимизации процесса термической обработки консервов. Проведено моделирование процесса тепловой обработки с прогнозированием значения F-эффекта при разработке новых режимов тепловой обработки консервов. Предложены формы записи таких режимов тепловой обработки. Описано программное обеспечение расчета фактической летальности процессов тепловой обработки консервированных пищевых продуктов.
12. Введено понятие «цифровой сертификации». Проведена «цифровая сертификация» режимов стерилизации консервной продукции с применением «цифровых двойников».
13. Разработаны модели тепловых процессов автоклава для «цифрового двойника» процесса стерилизации консервов.
14. Проведена разработка предварительного режима стерилизации консервов "Скумбрия атлантическая натуральная с добавлением масла" и "Печень трески по-мурмански" на основе разработанных математических моделей процесса.

15. Обосновано применение моделирования режимов тепловой стерилизации для улучшения показателей качества консервной продукции.
16. Предложена методика, обеспечивающая подбор параметров процесса стерилизации в автоматическом режиме.
17. Предложена методика «цифровой сертификации» режимов обезвоживания и копчения рыбного сырья с применением «цифровых двойников».
18. Приведена практическая реализация результатов исследований тепловой обработки водных биоресурсов Арктики в коптильно-сушильных установках. Предложена иерархическая структура автоматизированной системы управления процессом копчения пищевых продуктов.
19. Разработана и модернизирована система автоматического управления универсальной коптильно-сушильной установкой.
20. Проведено моделирование системы автоматического управления процессом копчения пищевых продуктов.
21. Разработана и модернизирована малогабаритная установка для поиска оптимальных технологических режимов релаксации сырья, проведено ее математическое моделирование. Предложена методика построения энергоэффективных режимов релаксации в ходе процесса обезвоживания рыбного сырья, методика оптимизации режимов релаксации.
22. Проведено исследование систем управления процессами тепловой обработки водных биоресурсов Арктики с использованием интеллектуальных технологий. Предложена нечеткая экспертная подсистема оценки качества консервов.
23. Проведено моделирование процесса управления с прогнозирующими моделями контура температуры универсальной коптильно-сушильной установки, а также малогабаритной сушильной установки для поиска оптимальных технологических режимов.
24. Проведено моделирование контура температуры универсальной коптильно-сушильной установки, а также контура температуры малогабаритной

сушильной установки с применением нейросетевой прогнозирующий регулятор

25. Проведено моделирование процесса управления с применением ПИД-регулятора с нечеткой коррекцией коэффициентов контура температуры малогабаритной сушильной установки.

Заключение

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 переменный 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 пяти процентов. Моделирование процессов позволило получить новые технологические режимы тепловой обработки.
4. Процедура разработки режимов тепловой обработки может быть значительно упрощена при использовании технологии «цифровых двойников» - имитационных моделей аппаратов и сырья. 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 должно 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 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 сокращений и условных обозначений

1. АиВТ – кафедра Автоматики и вычислительной техники МГТУ;
2. БПЛА – беспилотный летательный аппарат;
3. БУВ – блок управления вентиляторами;
4. ВРП – валовый региональный продукт;
5. ВРТО – переменный режим тепловой обработки;
6. ГБНИР – госбюджетная научно-исследовательская работа;
7. ДГ – дымогенератор
8. КПВ – клапан подачи охлаждающей воды в камеру;
9. КПВзд – клапан подачи воздуха в аппарат;
10. КПП – клапан подачи пара в камеру автоклава;
11. КС – клапан спуска из аппарата;
12. КСл – клапан слива из аппарата;
13. ЛП – лингвистическая переменная;
14. МГТУ – Мурманский государственный технический университет;
15. МИСт (MIST) – комплекс «Модернизация и Инновации в Стерилизации»;
16. НИР – научно-исследовательская работа;
17. НТИ – национальная технологическая инициатива;
18. ОС – операционная система;
19. ОУ – объект управления;
20. ПИД – пропорционально-интегрально-дифференцирующий регулятор;
21. ПЛК – программируемый логический контроллер;
22. ПО – программное обеспечение;
23. ПР – программируемое реле;
24. РМ – реестры рабочих мест;
25. РЦ – реестры рабочих центров;
26. СВ – свежий воздух
27. СЗФО – Северо-западный федеральный округ;
28. СПК – сенсорный панельный контроллер;
29. ТМ – реестры технологических маршрутов;

30. ТО – реестр технологических операций;
31. ТРТО – традиционный режим тепловой обработки;
32. ТЭН – трубчатый электронагреватель;
33. УКСУ – Универсальная коптильно-сушильная установка;
34. УЭЦ – учебно-экспериментальный цех;
35. ЦОД – центр обработки данных;
36. ШИМ – широтно-импульсная модуляция;
37. ЭВМ – электронная вычислительная машина;
38. AR – augmented reality (дополненная реальность);
39. CSV – Comma-Separated Values (формат данных);
40. HTST – high temperature short time (высокотемпературная ступенчатая стерилизация);
41. IT – Information Technology (информационная технология);
42. MPC – model predictive control (управление с прогнозированием);
43. PRSC – подбор режима стерилизации консервов (ПРСК);
44. ST – Structured Text (структурированный язык МЭК);
45. TPM – Thermal processing modeler (моделирование тепловых процессов);
46. VR – virtual reality (технология виртуальной реальности).

Список литературы

1. Автоматизация контроля и управления процессом копчения / А.В. Кайченков, В.А. Аминов, А.А. Маслов // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2011» [Электронный ресурс]. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (30,1Мб)- Мурманск: МГТУ, 2011. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321100504 от 13.12.11 г.
2. Апанасенко, С. И. Автоматизация контроля влажности кондитерских масс с применением интеллектуальных технологий: диссертация ... кандидата технических наук: 05.13.06 / Апанасенко Сергей Игоревич; [Место защиты: Моск. гос. ун-т приклад. биотехнологии]. – Москва, 2010. – 131 с.
3. Арзамасцев, А.А. Автоматизированная технология построения экспертных информационных систем / А.А. Арзамасцев, А.В. Неудахин // Вестник Тамбовского 186 университета. Серия: Естественные и технические науки. – Тамбов. – 2008. – Т.13. – Вып. 1. – С. 83–85.
4. Ахмедов М. Э. Разработка и создание новых ресурсосберегающих способов консервирования и эффективных устройств и аппаратов для тепловой стерилизации консервов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.12 / Ахмедов Магомед Эминович – Махачкала, 2011. – 49 с.
5. Бабарин В. П. Тепловая стерилизация плодовоовощных консервов (теория и практика): дис. ... д-ра техн. наук в виде научного доклада: 05.18.13и 05.18.12 / Бабарин Виктор Петрович. – Москва, 1994. – 64 с.
6. Бабарин, В. П. К вопросу изменения подхода к нормированию и разработке режимов стерилизации консервов [Текст] / В. П. Бабарин, В. П. Филиппович // Консервная промышленность сегодня: технологии, маркетинг, финансы. – 2011. – № 9. – С. 44-46.
7. Бабарин, В. П. Стерилизация консервов : справочник / В. П. Бабарин. – СПб. : ГИОРД, 2006. – 305, [1] с. – (Современная учебная, техническая и научная литература)

8. Балыхин М.Г. Методологические основы создания экспертных систем контроля и прогнозирования качества пищевой продукции с использованием интеллектуальных технологий: Монография/ М.Г. Балыхин, А.Б. Борзов, И.Г. Благовещенский. – М.: Франтера, 2017. – 395 с.

9. Благовещенская М.М. Автоматика и автоматизация пищевых производств: Учебник для вузов / М.М. Благовещенская, Н.О. Воронина, А.В. Казаков, И.К. Петров, Е.А. Прокофьев. – М.: Высш. шк., 1998. – 255 с.

10. Бодров А.У. Оптимизация процесса стерилизации консервов в автоклаве и его математическое моделирование: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.12 – Л., 1986. – 16 с.

11. Веремей Е.И., Сотникова М.В. Управление с прогнозирующими моделями. СПб: Изд-во СПбГУ, 2014. 212 с.

12. Висков, А. Ю. Повышение эффективности процесса холодного копчения рыбы путем непрерывного контроля внутренних свойств полуфабриката : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.18.12 : 05.13.06 / А. Ю. Висков ; Мурман. гос. техн. ун-т. – Мурманск, 2001. – 20 с.

13. Власов, А. В. Внедрение технических и программных средств автоматизации «ОВЕН» в учебный процесс и производство / А. В. Власов, А. А. Маслов, А. В. Кайченков // Наука и образование – 2010 [Электронный ресурс] : юбилейн. междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 60-летию МГТУ, Мурманск, 5-9 апреля 2010 г. / Мурман. гос. техн. ун-т. – Электрон. текст. дан. (139 Мб). – Мурманск : МГТУ, 2010. – С. 1349-1352. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). — Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321000362.

14. Власов, А. В. Исследование температурного поля в стерилизационной камере автоклава с использованием теории планирования активного эксперимента / А. В. Власов, А. В. Кайченков, А. А. Маслов // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного производства, технология и надежность машин, приборов и оборудования : материалы 3-й междунар. науч.-техн. конф. : в 2 т. / ВоГТУ. – Вологда, 2007. – Т. 1. – С. 193-196.

15. Власов, А. В. К вопросу о методах определения стерилизующего эффекта при производстве консервов в автоклавах периодического действия / А. В. Власов, А. В. Кайченков, А. А. Маслов // Наука и образование – 2010 [Электронный ресурс] : юбилейн. междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 60-летию МГТУ, Мурманск, 5-9 апреля 2010 г. / Мурман. гос. техн. ун-т. – Электрон. текст. дан. (139 Мб). – Мурманск : МГТУ, 2010. – С. 1006-1009. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). — Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321000362.

16. Власов, А. В. Оптимизация процесса стерилизации паром в автоклавах периодического действия / А. В. Власов, А. В. Кайченков ; Мурман. гос. техн. ун-т. – Мурманск, 2008. – 6 с. : ил. – Библиогр.: 3 назв. – Деп. в ВИНТИ 10.11.2008, № 867-B2008.

17. Власов, А. В. Особенности работы программно-аппаратного комплекса для экспериментального исследования температурного поля в стерилизационной камере автоклава периодического действия / А. В. Власов, А. В. Кайченков, А. А. Маслов // Наука и образование – 2008 [Электронный ресурс] : междунар. науч.-техн. конф., Мурманск, 2-10 апреля 2008 г. / МГТУ. – Электрон. текст. дан. (20 Мб). – Мурманск : МГТУ, 2008. – С. 891–893. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). — Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0320000238 от 21.01.08.

18. Власов, А. В. Особенности управления стерилизационной установкой АВК-30 / А. В. Власов, А. В. Кайченков, А. А. Маслов // Наука и образование – 2009 [Электронный ресурс] : междунар. науч.-техн. конф., Мурманск, 1-9 апреля 2009 г. / МГТУ. – Электрон. текст. дан. (181 Мб). – Мурманск : МГТУ, 2009. – С. 1150-1153. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). — Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0320900170 от 25.05.09.

19. Власов, А. В. Повышение эффективности стерилизации консервов паром в автоклавах : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.18.12 : 05.13.06 / А. В. Власов ; Мурман. гос. техн. ун-т. – Мурманск, 2010. - 20 с.

20. Власов, А. В. Практическая реализация программно-аппаратного комплекса для экспериментального исследования температурного поля в

стерилизационной камере автоклава / А. В. Власов, А. В. Кайченков, А. А. Маслов // Современные технологии в машиностроении : XI Междунар. науч.-практ. конф., дек. 2007 г. : сб. ст. / редкол.: В. П. Артеменков [и др.] ; О-во «Знание» России, Приволжский дом знаний: Пенз. гос. технол. акад, Пенз. Гос. ун-т [и др.]. – Пенза :, 2007. – С. 267-269.

21. Власов, А. В. Программно-аппаратный комплекс для экспериментального исследования температурного поля в стерилизационной камере автоклава / А. В. Власов, А. В. Кайченков, А. А. Маслов // Молодежь и современные информационные технологии : VI Всерос. науч.-практ. конф. студ., аспирантов и молодых ученых : сб. тр. / Том. политехн. ун-т. – Томск, 2008. – С. 393–395.

22. Власов, А. В. Пути повышения эффективности процесса стерилизации в автоклавах периодического действия / А. В. Власов, А. В. Кайченков, А. А. Маслов // Наука и образование – 2009 [Электронный ресурс] : междунар. науч.-техн. конф., Мурманск, 1–9 апреля 2009 г. / МГТУ. – Электрон. текст. дан. (181 Мб). – Мурманск : МГТУ, 2009. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – С. 373–376. – Гос. рег. НТЦ "Информрегистр" № 0320900170 от 25.05.09.

23. Власов, А. В. Разработка методики определения наименее прогреваемой области стерилизационной камеры автоклава / А. В. Власов, А. Р. Власова, А. А. Маслов // Наука и образование – 2010 [Электронный ресурс] : юбилейн. междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 60-летию МГТУ, Мурманск, 5-9 апреля 2010 г. / Мурман. гос. техн. ун-т. – Электрон. текст. дан. (139 Мб). – Мурманск : МГТУ, 2010. – С. 1338-1342. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). — Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321000362.

24. Власов, А. В. Разработка системы контроля и управления процессом стерилизации консервов в автоклавах периодического действия / А. В. Власов, А. В. Кайченков, А. А. Маслов // Молодежь и современные информационные технологии : сб. тр. VII Всерос. науч.-практ. конф. студ., аспирантов и молодых ученых / ТПУ. – Томск, 2009. – С. 42–43.

25. Власов, А. В. Совершенствование методики изучения температурного поля греющей среды аппаратов периодического действия для стерилизации консервов / А. В. Власов, А. В. Кайченков, А. А. Маслов // Наука и образование – 2009 [Электронный ресурс] : междунар. науч.-техн. конф., Мурманск, 1-9 апреля 2009 г. / Мурман. гос. техн. ун-т. – Электрон. текст. дан. (181 Мб). – Мурманск : МГТУ, 2009. – С. 361-363. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). — Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0320900170 от 25. 05. 09.

26. Воробьев, В. В. Стратегия развития рыбной промышленности России до 2030 года / В. В. Воробьев // Стратегическое планирование и развитие предприятий : Материалы Девятнадцатого всероссийского симпозиума, Москва, 10–11 апреля 2018 года / Под редакцией Г.Б. Клейнера. – Москва: Центральный экономико-математический институт РАН, 2018. – С. 529-531. – EDN VKPOEU.

27. Выскубов Е. В. Разработка микропроцессорных систем управления периодическими процессами тепловой обработки пищевых продуктов (на примере САУ стерилизации консервов): дис. ... канд. техн. наук: 05.13.07 / Выскубов Евгений Владимирович. – Краснодар, 1996. – 162 с.

28. Глазунов, Ю. Т. Моделирование процессов пищевых производств / Ю. Т. Глазунов, А. М. Ершов, М. А. Ершов. – М.: Колос, 2008. – 358 с. – (Учебник).

29. Гроховский В. А. Щадящие способы стерилизации / В. А. Гроховский [и др.] // Электронный учебно-методический комплекс дисциплины «Технология рыбы и рыбных продуктов» [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: <http://fish-tech.mstu.edu.ru/part4/coursebook.shtml>. – Дата обращения: 28.02.2017.

30. Гроховский, В. А. Научное обоснование и создание инновационных технологий изготовления продуктов из гидробионтов Арктического региона : специальность 05.18.04 "Технология мясных, молочных и рыбных продуктов и холодильных производств" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Гроховский Владимир Александрович. – Мурманск, 2012. – 732 с. – EDN SULTSN.

31. Гроховский, В. А. Традиционные и инновационные технологии продуктов из печени гидробионтов : монография / В. А. Гроховский, В. И. Волченко. – Мурманск : МГТУ, 2009. – 68 с.

32. Гроховский, В.А. Исследование теплообмена в консервной банке конической формы / А. В. Кайченев, В. А. Гроховский // Наукові здобутки молоді у вирішенні актуальних проблем виробництва та переробки сировини, стандартизації і безпеки продовольства з б і р н и к т е з. д о п о в і д е й за підсумками Міжнар. науково-практ. конф. молодих вчених, аспірантів і студентів / НУБіП України. – Київ, 2011, - С. 214-216.

33. Гроховский, В.А. Модернизированный способ стерилизации консервной продукции / А. В. Кайченев, В. А. Гроховский, А.А. Маслов // Наука и образование – 2011 [Электронный ресурс] : междунар. науч.-техн. конф., Мурманск, 4–8 апреля 2011 г. / МГТУ. – Электрон. текст. дан. (43 Мб). – Мурманск : МГТУ, 2011.- (НТЦ "Информрегистр". - № гос. регистрации 0321100504.- С. 870-874.

34. Группа компаний «ФЭСТ» О КОМПАНИИ [Электронный ресурс]: ФЭСТ. – Режим доступа: <http://fest.msk.ru/ru/main/about>, свободный. – Дата обращения: 27.11.2017.

35. Дауни А.Б. Байесовские модели. Байесовская статистика на языке Python. ДМК-Пресс, 2018. 182 с.

36. Демид А. В. Создание новых деликатесных пастеризованных рыбных консервов с экзотическими фруктами и оливковым маслом / А. В. Демид, В. А. Гроховский, Л. К. Куранова, В. И. Волченко // Вестник МГТУ. – Мурманск: Изд-во МГТУ, 2018. – Т. 21, № 3. – С. 460–470.

37. Демид А. В., Гроховский В. А. Композиционный состав нового вида пастеризованных рыбных консервов // Мат. XV междунар. науч.-практ. конф. «Теоретические и практические проблемы развития современной науки», 30 ноября 2017 г. – Махачкала: ООО «Апробация», 2017. – С. 15–18.

38. Жук, А. А. Автоматизация автоклава АВК-30М для проведения научных исследований в области пастеризации продуктов из гидробионтов / А. А.

Жук, А. В. Кайченев // Наука - производству : Материалы международной научно-практической конференции, Мурманск, 18–20 апреля 2018 года. – Мурманск: Мурманский государственный технический университет, 2018. – С. 41-45. – EDN YMBCDB.

39. Жук, А. А. Автоматизация промышленного автоклава АСКАМАТ-230 для проведения научных исследований в области тепловой обработки продуктов из гидробионтов / А. А. Жук, А. В. Кайченев // Молодая наука Арктики : сборник материалов регионального молодежного форума, посвященного 123-летию со дня рождения великого русского исследователя Арктики И. Д. Папанина, Мурманск, 16–17 ноября 2017 года / Мурманский государственный технический университет. – Мурманск: Мурманский государственный технический университет, 2017. – С. 18-21. – EDN HDEMRG.

40. Жук, А. А. Автоматическое управление процессом пастеризации продуктов из гидробионтов - перспективный метод разработки и производства полезной консервной продукции / А. А. Жук, А. В. Кайченев, Л. К. Куранова // Наука - производству : Материалы международной научно-практической конференции, Мурманск, 14–19 апреля 2017 года / Мурманский государственный технический университет. – Мурманск: Мурманский государственный технический университет, 2017. – С. 34-37. – EDN YOLFBQ.

41. Жук, А. А. Пастеризация продуктов из гидробионтов: обзор современных исследований и проблематика / А. А. Жук, А. В. Кайченев // Современные эколого-биологические и химические исследования, техника и технология производств : МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ, в 2х частях, Мурманск, 07 апреля 2017 года / Мурманский государственный технический университет. – Мурманск: Мурманский государственный технический университет, 2017. – С. 70-74. – EDN YOLFZW.

42. Идентификация параметров модели нелинейного объекта с помощью нейронных сетей / А.В. Власов, А.Р. Власова, А.В. Кайченев [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование –

2012» [Электронный ресурс]. Мурманск, 2 - 6 апреля 2012 г. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (28,6Мб)- Мурманск: МГТУ, 2012. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321201101 от 20.12.12 г.

43. Идентификация параметров численной математической модели стерилизационной камеры судового автоклава ASCAMAT 230 с целью разработки оптимальной системы автоматического управления / А. В. Кайченoв, 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. – EDN YLUBLP.

44. Инструкция по разработке режимов стерилизации консервов из рыбы и морепродуктов : утв. Ком. Рос. Федерации по рыболовству : введ. 1997-01-01. – СПб. : Гипрорыбфлот, 1996. – 42 с.

45. Исследование влияния неоднородности температурного поля при продувке стерилизационной камеры автоклава на различие стерилизующих эффектов в банках / А. М. Ершов, В. А. Гроховский, А. А. Маслов, А. В. Власов, А. В. Кайченoв // Вестник МГТУ : труды Мурман. гос. техн. ун-та. – Мурманск, 2009. – Т. 12, № 1. – С. 52-57.

46. Исследование модернизированного способа стерилизации консервов «Печень трески натуральная» / А.В. Власов, А.Р. Власова, А.В. Кайченoв [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2012» [Электронный ресурс]. Мурманск, 2 - 6 апреля 2012 г. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (28,6Мб)- Мурманск: МГТУ, 2012. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321201101 от 20.12.12 г.

47. Исследование наименее прогреваемой области в банке Impress / А.В. Кайченoв, В.А. Гроховский, А.А. Маслов [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2011» [Электронный ресурс]. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (30,1Мб)- Мурманск: МГТУ, 2011. - 1

опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321100504 от 13.12.11 г.

48. Исследование температурного поля в консервах при стерилизации в автоклавах периодического действия / А.В. Кайченев, А.В. Власов, А.А. Маслов // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов VIII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Томск, 2010.

49. Исследование температурного поля в стерилизационной камере автоклава с использованием теории планирования активного эксперимента / А.В. Кайченев, А.В. Власов, А.А. Маслов // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного производства, технология и надежность машин, приборов и оборудования: Материалы третьей международной научно-технической конференции.– Т1. Вологда, 2007.

50. Исследование температурного поля промышленного автоклава ASCAMAT-230 / А. Столянов, А. Кайченев, 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.

51. К вопросу о методах определения стерилизующего эффекта при производстве консервов в автоклавах периодического действия / А.В. Кайченев, А.В. Власов, А.А. Маслов // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2010» [Электронный ресурс]. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (139 Мб)- Мурманск: МГТУ, 2010. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321000362 от 12.08.10 г.

52. Кайченев, А. В. Исследование температурного поля в консервах при стерилизации в автоклавах периодического действия / А. В. Кайченев, А. В. Власов, А. А. Маслов // Молодежь и современные информационные технологии : сб. тр. VIII Всерос. науч.-практ. конф. студ., аспирантов и молодых ученых / Том. политехн. ун-т. – Томск, 2010. – С. 109-110.

53. Кайченoв, А. В. Модернизация системы автоматического управления сушильной установкой / А. В. Кайченoв, Г. И. Борщoв, И. Ю. Селяков // Наука - производству : Материалы международной научно-практической конференции, Мурманск, 18–20 апреля 2018 года. – Мурманск: Мурманский государственный технический университет, 2018. – С. 56-59. – EDN YMBCDZ.

54. Кайченoв, А. В. Модернизированный способ стерилизации консервной продукции / А. В. Кайченoв, В. А. Гроховский, А. А. Маслов // Наука и образование – 2011 [Электронный ресурс] : междунар. науч.-техн. конф., Мурманск, 4-8 апреля 2011 г. / Мурман. гос. техн. ун-т ; Ун-т Тромсё. - Электрон. текст. дан. (131 Мб). – Мурманск : МГТУ, 2011. - С. 870-874. – 1 электрон. отп. Диск (CD-ROM). – Гос. рег. НТЦ "Информрегистр" № 0321100504.

55. Кайченoв, А. В. Разработка и исследование модернизированного способа стерилизации консервов из гидробионтов : специальность 05.18.04 "Технология мясных, молочных и рыбных продуктов и холодильных производств", 05.13.06 "Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям)" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Кайченoв Александр Вячеславович. – Мурманск, 2011. – 191 с. – EDN QFPBST.

56. Кайченoв, А. В. Разработка системы автоматического управления для тренажера процесса стерилизации пищевых продуктов на базе технических средств автоматизации "ОВЕН" / А. В. Кайченoв, И. Ю. Селяков, А. А. Маслов // Наука - производству : Материалы международной научно-практической конференции, Мурманск, 22–25 марта 2016 года / Мурманский государственный технический университет. – Мурманск: Мурманский государственный технический университет, 2016. – С. 60-64. – EDN WKRZQT.

57. Комиссарчик, В.Ф. Автоматическое регулирование технологических процессов: учебное пособие / В.Ф. Комиссарчик. – Тверь: Тверской государственный технический университет, 2001 – 247 с.

58. Комплекс АСК [Электронный ресурс] // ООО «Рыбопромышленные автоматизированные системы». – Режим доступа: [http://www.fasltd.ru / New2.htm](http://www.fasltd.ru/New2.htm). – Загл. с экрана.

59. Комплекс для повышения эффективности процесса стерилизации консервной продукции / А.В. Кайченев, А. А. Маслов, А. В. Власов // Наука и образование: материалы всероссийской научно-практической конференции, Мурманск, 27 марта 2017 г. / Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Мурманский государственный технический университет". – Мурманск : Изд-во МГТУ, 2017.

60. Кошечая С. Е. Математическое моделирование процесса тепловой стерилизации и технологического комплекса оборудования для консервных производств малой мощности: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.12 / Кошечая Софья Евгеньевна – Краснодар, 1996. – 24 с

61. Красинский, А.Я. О влиянии деформируемости колес на динамику работа с дифференциальным приводом / А.Я. Красинский, Д.Р. Каюмова // Нелинейная динамика. – 2011. – Т.7. – №4. – С. 803-822.

62. Краснов А.Е., Умеренков Д.Е. Построение детерминированной дискретной динамической модели хозяйственной деятельности предприятия в краткосрочной перспективе // Хранение и переработка сельхозсырья. 2005. № 3, С. 11 – 14.

63. Кринецкий, И. И. Основы научных исследований : учеб. пособие для вузов по спец. электрон. техника, электроприборостроения и автоматика / И. И. Кринецкий. – Киев ; Одесса : Вища. шк., 1981. – 207 с.

64. Критерии оптимизации управления температурой в автоклаве при стерилизации паром / А.В. Кайченев, А.В. Власов, А.А. Маслов // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов VIII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Томск, 2010.

65. Крылова, Т. Н. О возможности унифицированного подхода к разработке режимов стерилизации натуральных рыбных консервов / Т. Н. Крылова, Т. Н. Рулева // Повышение качества рыбной продукции – стратегия развития рыбопереработки в XXI веке : Материалы III междунар. конф. / АтлантНИРО. – Калининград, 2001. – С. 126-129.

66. Лейкин В. С. Автоматизация производственных процессов рыбообрабатывающей промышленности / В. С. Лейкин, С. П. Сердобинцев. – М. : Агропромиздат, 1989. – 231 с. : ил. – (Учебники и учебные пособия для учащихся техникумов).

67. Ли, Р. Оптимальные оценки, определение характеристик и управление / Р. Ли. – М. : Наука, 1966. – 400 с.

68. Льюнг, Л. Идентификация систем. Теория для пользователя / Л. Льюнг ; пер. с англ. А. С. Манделя, А. В. Назина ; под ред. Я. З. Цыпкина. – М. : Наука, 1991. – 432 с.

69. Магергут, В. З. Выбор промышленных регуляторов и расчет их оптимальных настроек : монография / В. З. Магергут, Д. П. Вент, И. А. Кацер. – Белгород : Изд-во БГТУ, 2009. – 239 с.

70. Малогабаритная сушильная установка / А.А. Маслов, А.В. Кайченев, В.А. Аминов [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2010» [Электронный ресурс]. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (139 Мб)- Мурманск: МГТУ, 2010. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321000362 от 12.08.10 г.

71. Малогабаритная установка для поиска оптимальных технологических режимов / А.А. Маслов, А.В. Кайченев, И.Ю. Селяков [и др.] // Сборник научных статей XVIII-ой Международной научно-практической конференции «Инновация-2013» (16-18 октября 2013 г.) . – Ташкент: ЦСИИ, 2013. –

72. Маслов, А. А. Адаптивная система управления процессом черпания многочерпакового земснаряда : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.13.06/ А. А. Маслов ; Мурман. гос. техн. ун-т. – Мурманск, 1988. – 167 с.

73. Маслов, А. А. Исследование динамики теплообмена в стерилизационной камере автоклава / А. А. Маслов, А. В. Власов, А. В. Кайченков // Рыбное хозяйство. – 2009. – № 6. – С. 77-79. – EDN KZSECZ.

74. Мелихов А. Н., Бернштейн Л. С., Коровин С. Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. М.: Наука, 1990. 272 с.

75. Мелса, Д. Идентификация систем управления / Д. Мелса, Э. Сейдж. – М. : Наука, 1974. – 400 с.

76. Методика изучения температурного поля греющей среды аппаратов периодического действия для стерилизации консервов : утв. 1983-01-17. – М. : Мин. рыб. хоз. СССР, 1983. – 14 с.

77. Методика косвенной оценки параметров модели нагревания стерилизуемой консервной продукции» / А.В. Власов, А.Р. Власова, А.В. Кайченков [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2011» [Электронный ресурс]. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (30,1Мб)- Мурманск: МГТУ, 2011. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321100504 от 13.12.11 г.

78. Моделирование теплообмена в стерилизационной камере автоклава на этапах нагрева и собственно стерилизации» / А.В. Власов, А.Р. Власова, А.В. Кайченков [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2011» [Электронный ресурс]. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (30,1Мб)- Мурманск: МГТУ, 2011. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321100504 от 13.12.11 г.

79. Моделирование теплообмена в стерилизационной камере автоклава на этапе продувки / А.В. Власов, А.Р. Власова, А.В. Кайченков [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и

образование – 2012» [Электронный ресурс]. Мурманск, 2 - 6 апреля 2012 г. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (28,6Мб)- Мурманск: МГТУ, 2012. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321201101 от 20.12.12 г.

80. Моделирование технологического процесса стерилизации консервов в промышленном автоклаве / С. А. Мокрушин, И. Г. Благовещенский, Е. А. Назойкин, М. М. Благовещенская // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2020. – № 1. – С. 118-126. – DOI 10.36107/spfp.2020.157. – EDN KYXELP.

81. Модернизация малогабаритной установки для поиска оптимальных технологических режимов сушки сырья / В. В. Ерещенко, И. Ю. Селяков, А. А. Маслов [и др.] // Техника и технологии: пути инновационного развития : сборник научных трудов 4-ой Международной научно-практической конференции, Курск, 30 июня 2014 года / Ответственный редактор: А.А. Горохов. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2014. – С. 110-114. – EDN SZJXJF.

82. Модернизация системы автоматического управления малогабаритной установки для поиска оптимальных технологических режимов / А.А. Маслов, А.В. Кайченков, И.Ю. Селяков // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2013» [Электронный ресурс]. Мурманск, 4 - 11 марта 2013 г. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (31,5 Мб)- Мурманск: МГТУ, 2013. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321301202 от 04.03.14 г.

83. Модернизация системы автоматического управления промышленного автоклава ASCAMAT-230 для проведения научных исследований / А.В. Кайченков, А.А. Маслов, А.А. Жук [и др.] // Наука и образование: материалы всероссийской научно-практической конференции, Мурманск, 27 марта 2017 г. / Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования

"Мурманский государственный технический университет". – Мурманск : Изд-во МГТУ, 2017.

84. Модули управления вентиляторами для малогабаритной установки для поиска оптимальных технологических режимов / И.Ю. Селяков, А.В. Власов, А.В. Кайченев [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2014» [Электронный ресурс]. Мурманск, 24 - 28 марта 2014 г. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (20,4 Мб)- Мурманск: МГТУ, 2014. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321401155 от 15.10.14 г.

85. Мокрушин С. А. Разработка автоматизированной системы управления технологическим процессом стерилизации консервов в промышленном автоклаве : дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06. – М., 2019. – 176 с.: ил.

86. Мокрушин, С. А. Автоматизация вертикальных автоклавов [Электронный ресурс] / С. А. Мокрушин // Альфа-Пром Киров. – Режим доступа: http://www.alfa-prom.ru/art_4_aut_vert_avtoklavov.html. – Загл. с экрана.

87. Непрерывный контроль массы сырья в процессе вяления рыбной продукции / А.А. Маслов, А.В. Кайченев, И.Ю. Селяков // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2013» [Электронный ресурс]. Мурманск, 4 - 11 марта 2013 г. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (31,5 Мб)- Мурманск: МГТУ, 2013. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321301202 от 04.03.14 г.

88. О возможных причинах завышения F-эффекта при стерилизации консервов / А.В. Кайченев, В.А. Гроховский, Л.К. Куранова [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2013» [Электронный ресурс]. Мурманск, 4 - 11 марта 2013 г. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (31,5 Мб)- Мурманск: МГТУ, 2013. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321301202 от 04.03.14 г.

89. О перспективных направлениях научных исследований в области повышения эффективности производства продуктов из гидробионтов / А.В. Власов, А.Р. Власова, А.В. Кайченев [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2013» [Электронный ресурс]. Мурманск, 4 - 11 марта 2013 г. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (31,5 Мб)- Мурманск: МГТУ, 2013. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321301202 от 04.03.14 г.

90. Обзор методов многоцелевой оптимизации термической обработки продуктов / А. В. Столянов, А. В. Кайченев, А. А. Маслов [и др.] // Техника и технологии: пути инновационного развития : сборник научных трудов 4-ой Международной научно-практической конференции, Курск, 30 июня 2014 года / Ответственный редактор: А.А. Горохов. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2014. – С. 233-238. – EDN SZJXMH.

91. Оптимизация процесса стерилизации в воде консервов из гидробионтов» / А.В. Власов, А.Р. Власова, А.В. Кайченев [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2012» [Электронный ресурс]. Мурманск, 2 - 6 апреля 2012 г. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (28,6Мб)- Мурманск: МГТУ, 2012. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321201101 от 20.12.12 г.

92. Оптимизация процесса стерилизации консервов в водной среде в автоклаве АВК-30М / А.В. Кайченев, 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.

93. Особенности работы программно-аппаратного комплекса для экспериментального исследования температурного поля в стерилизационной камере автоклава периодического действия» / А.В. Кайченев, А.В. Власов, А.А. Маслов // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2008» [Электронный ресурс]. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (20

Мб)- Мурманск: МГТУ, 2008. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0320800238 от 21.01.08 г.

94. Особенности работы с панелью оператора «ОВЕН» СП-270 в ходе проектирования стерилизационной установки АВК-30М» / А.В. Власов, А.Р. Власова, А.В. Кайченков [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2012» [Электронный ресурс]. Мурманск, 2 - 6 апреля 2012 г. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (28,6Мб)- Мурманск: МГТУ, 2012. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321201101 от 20.12.12 г.

95. Особенности разработки автоматической системы управления процессом стерилизации для стерилизационной установки АВК-30 / А.В. Кайченков, А.В. Власов, А.А. Маслов // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2009» [Электронный ресурс]. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (181 Мб)- Мурманск: МГТУ, 2009. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0320900170 от 25.05.09 г.

96. Особенности разработки автоматической системы управления универсальной коптильно-сушильной установкой / А.А. Маслов, В.А. Аминов, А.В. Кайченков [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2012» [Электронный ресурс]. Мурманск, 2 - 6 апреля 2012 г. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (28,6Мб)- Мурманск: МГТУ, 2012. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321201101 от 20.12.12 г.

97. Особенности управления стерилизационной установкой АВК-30 / А.В. Кайченков, А.В. Власов, А.А. Маслов // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2009» [Электронный ресурс]. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (181 Мб)- Мурманск: МГТУ, 2009. - 1 опт.

Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0320900170 от 25.05.09 г.

98. Оценка энергоэффективности введения режимов релаксации на универсальной коптильно-сушильной установке / И. Ю. Селяков, А. А. Маслов, А. В. Кайченев [и др.] // Рыбное хозяйство. – 2013. – № 6. – С. 111-115. – EDN RWGNOD.

99. Паровой стерилизатор ВК-30 : паспорт / Тюмен. завод мед. оборудования и инструментов. – Тюмень : [б. и.], 1983. – 40 с.

100. Пат. 2183065 Российская Федерация, МПК А 23 В 4/044 Способ автоматического управления процессом горячего копчения рыбы / А.Н. Остриков, А.А. Шевцов, Ю.А. Дмитриев; заявитель и патентообладатель Воронеж. Гос. Технол. Акад. - № 2000123447/13. Заявлено 11.09.2000 опубл. 10.06.2002. Бюл. № 16

101. Пат. 2183066 Российская Федерация, МПК А 23 В 4/044 Способ автоматического управления процессом холодного копчения рыбы / А.Н. Остриков, А.А. Шевцов, Ю.А. Дмитриев; заявитель и патентообладатель Воронеж. Гос. Технол. Акад. - № 2000127208/13. Заявлено 30.10.2000 опубл. 10.06.2002. Бюл. № 16

102. Пат. 2308836 Российская Федерация, МПК А 23 В 4/044. Способ управления процессом горячего копчения рыбы / А.Н. Остриков, А.А. Шевцов, Н.Ю. Черноусова; заявитель и патентообладатель Воронеж. Гос. Технол. Акад. - № 2006112070/13. Заявлено 11.04.2006; опубл. 27.10.2007. Бюл. №30

103. Пат. 2615365 Российская Федерация, МПК А 23 В 4/044 Способ горячего копчения рыбной продукции / Л.И. Лыткина [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «ВГУИТ». - 2015100174 Заявлено 13.01.2015 опубл. 04.04.2017 Бюл. № 10

104. 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. Р. Власова [и др.] ; заявитель Федеральное

государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Мурманский государственный технический университет" (ФГОУВПО "МГТУ"). – EDN ILQEAR.

105. Патент на полезную модель № 136962 U1 Российская Федерация, МПК А23В 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. Кайченев, А. А. Маслов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Мурманский государственный технический университет". – EDN YKRGLW.

106. Патент на полезную модель № 136963 U1 Российская Федерация, МПК А23В 4/044. Дымогенератор : № 2013126807/13 : заявл. 11.06.2013 : опубл. 27.01.2014 / А. Р. Власова, А. В. Власов, А. В. Кайченев, А. А. Маслов ; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Мурманский государственный технический университет". – EDN XQAQMZ.

107. Патент на полезную модель № 94418 U1 Российская Федерация, МПК А23L 3/00, А23L 3/10. Стерилизационная установка : № 2010105537/22 : заявл. 16.02.2010 : опубл. 27.05.2010 / А. А. Маслов, А. В. Власов, А. В. Кайченев ; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Мурманский государственный технический университет". – EDN XNVSNA.

108. Петров И.В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и инструменты / И.В. Петров; под ред. проф. В. П. Дьяконова. – М.: СОЛОН-Пресс, 2003. – 256 с.

109. Пешко, М. С. Адаптивная система управления параметрами микроклимата процессов производства и хранения пищевых продуктов: дис. канд. техн. наук: 05.13.06 / Пешко Михаил Сергеевич. – Омск, 2015. – 200 с.

110. Пинская Л. А. Обоснование режимов стерилизации консервов. Некоторые вопросы теории и практики / Л. А. Пинская, А. С. Сазонова //

Рыбпром: технологии и оборудование для переработки водных биоресурсов. – Москва, 2010. – С. 32-33.

111. Подбор параметров режимов стерилизации консервной продукции с использованием средств вычислительной техники / А.В. Кайченев, А.В. Власов, А.Ю. Висков [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2014» [Электронный ресурс]. Мурманск, 24 - 28 марта 2014 г. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (20,4 Мб)- Мурманск: МГТУ, 2014. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321401155 от 15.10.14 г.

112. Получение математической модели температурного поля в стерилизационной камере автоклава на основании результатов активного эксперимента / А. В. Власов, Ю. Т. Глазунов, А. М. Ершов [и др.] // Техника и технологии переработки гидробионтов и сельскохозяйственного сырья : материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. памяти проф. Н. Н. Рулева, Мурманск, 24-25 апреля 2008 г. / Мурман. гос. техн. ун-т. – Мурманск, 2008. – С. 18-21.

113. Постановка задачи идентификации динамических свойств объекта с помощью нейронных сетей / А.В. Власов, А.Р. Власова, А.В. Кайченев [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2011» [Электронный ресурс]. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (30,1Мб)- Мурманск: МГТУ, 2011. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321100504 от 13.12.11 г.

114. Практическая реализация программно-аппаратного комплекса для экспериментального исследования температурного поля в стерилизационной камере автоклава / А.В. Кайченев, А.В. Власов, А.А. Маслов // Современные технологии в машиностроении: сборник статей XI Международной научно-практической конференции. Пенза, 2007.

115. Предварительный подбор режима стерилизации консервов "Скумбрия атлантическая натуральная с добавлением масла" на основе

разработанных математических моделей процесса / А. Маслов, А. Столянов, А. Кайченков, 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.

116. Применение моделирования режимов тепловой стерилизации для улучшения показателей качества консервной продукции / А. Столянов, А. Кайченков, 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.

117. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации» // Официальный сайт Правительства РФ. [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/rugovclassifier/614/events>.

118. Программно-аппаратный комплекс для экспериментального исследования температурного поля в стерилизационной камере автоклава / А.В. Кайченков, А.В. Власов, А.А. Маслов // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов VI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Томск, 2008.

119. Разработка автоматической системы управления универсальной коптильно-сушильной установкой / А.В. Кайченков, В.А. Аминов, А.А. Маслов // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2010» [Электронный ресурс]. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (139 Мб)- Мурманск: МГТУ, 2010. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321000362 от 12.08.10 г.

120. Разработка математической модели малогабаритной установки для поиска оптимальных режимов / И. Ю. Селяков, А. А. Маслов, А. В. Кайченков [и др.] // Рыбное хозяйство. – 2014. – № 3. – С. 108-113. – EDN TCWUNX.

121. Разработка модели автоклава для тренажера процесса стерилизации / А. В. Власов, А. Р. Власова, А. В. Кайченков [и др.] // Рыбное хозяйство. – 2015. – № 6. – С. 106-109. – EDN VOMAON.

122. Разработка модели стерилизационной камеры АВК-30М по методу "черного ящика" / А.В. Власов, А.Р. Власова, А.В. Кайченев [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2013» [Электронный ресурс]. Мурманск, 4 - 11 марта 2013 г. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (31,5 Мб)- Мурманск: МГТУ, 2013. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321301202 от 04.03.14 г.

123. Разработка модернизированного способа стерилизации консервов из гидробионтов / А.В. Власов, А.Р. Власова, А.В. Кайченев [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2012» [Электронный ресурс]. Мурманск, 2 - 6 апреля 2012 г. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (28,6Мб)- Мурманск: МГТУ, 2012. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321201101 от 20.12.12 г.

124. Разработка программного обеспечения расчета фактического летального эффекта процессов тепловой обработки консервов / А. А. Жук, А. В. Столянов, А. В. Кайченев, Л. К. Куранова // Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса : Сборник научных трудов XXIV Международной научно-практической конференции. В рамках Агропромышленного форума юга России: выставок «Интерагромаш», «Агротехнологии», Ростов-на-Дону, 24–26 февраля 2021 года. – Ростов-на-Дону: Общество с ограниченной ответственностью "ДГТУ-ПРИНТ", 2021. – С. 215-219. – DOI 10.23947/interagro.2021.215-219. – EDN QRKRNN.

125. Разработка программы "Построение графиков по данным в формате .ods и моделирование объекта" / А.В. Власов, А.Р. Власова, А.В. Кайченев // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2013» [Электронный ресурс]. Мурманск, 4 - 11 марта 2013 г. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (31,5 Мб)- Мурманск: МГТУ, 2013. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321301202 от 04.03.14 г.

126. Разработка программы управления сушильной установкой для создания линейно изменяющихся режимов релаксации сырья / И.Ю. Селяков, А.В. Власов, А.В. Кайченков [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2014» [Электронный ресурс]. Мурманск, 24 - 28 марта 2014 г. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (20,4 Мб)- Мурманск: МГТУ, 2014. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321401155 от 15.10.14 г.

127. Разработка режимов стерилизации консервов из гидробионтов с использованием средств вычислительной техники / Кайченков А.В., Власов А.В., Маслов А.А., Селяков И.Ю., Власова А.Р. // Вестник МГТУ. 2014. Т. 17, № 1. С. 46-52. URL: http://vestnik.mstu.edu.ru/v17_1_n56/46_52_kayche.pdf.

128. Разработка системы автоматического управления малогабаритной установкой для поиска оптимальных технологических режимов» / А.В. Власов, А.Р. Власова, А.В. Кайченков [и др.] // Наука, образование, инновации: пути развития : материалы Четвертой всероссийской научно-практической конференции (23–25 апреля 2013 г.) / отв. за вып. Я.В. Ганич. – Ч. I. – Петропавловск-Камчатский : КамчатГТУ, 2013.

129. Разработка системы автоматического управления процессом сушки рыбной продукции / А.В. Власов, А.Р. Власова, А.В. Кайченков [и др.] // Материалы восьмой международной научно-технической конференции. Вологда: ВоГТУ, 2013.

130. Разработка стерилизационной установки АВК-30М / А.В. Власов, А.Р. Власова, А.В. Кайченков [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2012» [Электронный ресурс]. Мурманск, 2 - 6 апреля 2012 г. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (28,6Мб)- Мурманск: МГТУ, 2012. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321201101 от 20.12.12 г.

131. Разработка технологии оценки состояния промышленных систем на основе показателя безопасности и принятие решений целеустремлённого поведения агента / В. Н. Богатиков, А. А. Маслов, А. В. Кайченев [и др.] // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. – 2013. – Т. 16. – № 4. – С. 654-662. – EDN RRVITR.

132. Реализация программы автоматического подбора параметров режима стерилизации консервной продукции / А.В. Власов, А.Р. Власова, А.В. Кайченев [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2014» [Электронный ресурс]. Мурманск, 24 - 28 марта 2014 г. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (20,4 Мб)- Мурманск: МГТУ, 2014. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321401155 от 15.10.14 г.

133. Реализация программы управления сушильной установкой для обеспечения комбинированных режимов обезвоживания с линейно изменяющимся временем релаксации рыбы / И. Ю. Селяков, А. А. Маслов, М. А. Ершов [и др.] // Рыбное хозяйство. – 2014. – № 3. – С. 126-128. – EDN TCWUPB.

134. Рулева, Т. Н. Актуальные проблемы качества и современные технологии производства рыбных консервов традиционного ассортимента / Т. Н. Рулева // Повышение качества рыбной продукции – стратегия развития рыбопереработки в XXI веке : Материалы III междунар. конф. / АтлантНИРО. – Калининград, 2001. – С. 37.

135. Сазонова Т. В. Управление автоклавом на основе многомерного нечеткого регулятора с интервальной неопределенностью: дис. ... канд. техн.наук: 05.13.06 / Сазонова Татьяна Васильевна. – Оренбург, 2013. – 195 с.

136. Сборник технологических инструкций по производству рыбных консервов и пресервов / под ред. В. С. Слепневой. – М. : Пищ. пром-сть, 1977. – 426 с.

137. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ F_CHANGE для универсальной коптильно-сушильной установки №2012611079, 26.01.2012г., Российская Федерация / А. В. Кайченев, А.А. Маслов, И.Ю.

Селяков ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»).

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

139. 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. Кайченoв, А.А. Маслов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»).

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

141. 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, М. А. Ершов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»). – EDN MBRTPT.

142. 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, М. А. Ершов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»). – EDN TAMNFO.

143. 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, М. А. Ершов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»). – EDN RBOFGM.

144. 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. Кайченков, И. Ю. Селяков [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»). – EDN SDSNQZ.

145. 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. Кайченков, И. Ю. Селяков [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего

профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»). – EDN GVBSLC.

146. 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. Кайченков, И. Ю. Селяков [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»). – EDN XCBEDW.

147. 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. Кайченков, И. Ю. Селяков [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»). – EDN OUSLSQ.

148. 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. Кайченков, И. Ю. Селяков [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»). – EDN LMBBDV.

149. 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. Кайченков, А. В. Власов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное

учреждение высшего образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «МГТУ»). – EDN GTLUAI.

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

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

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

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

154. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ Модуль подсчета, электроэнергии затраченной на технологический процесс № 2014617422, 21.07.2014г., Российская Федерация / А. В. Кайченков, А. Р. Власова, И.Ю. Селяков ; заявитель Федеральное государственное бюджетное

образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»).

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

156. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ Построение графиков по данным в формате .ods и моделирование объекта №2012615577, 20.06.2012г., Российская Федерация / А. В. Власов, А. В. Кайченков, А.А. Маслов и др. ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»).

157. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ Преобразование архивных данных трендов 3S CodeSys в структурированный численный вид №2012616384, 12.07.2012г., Российская Федерация / А. В. Власов, А. В. Кайченков, А.Р. Власова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»).

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

159. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ Программа пятиканального блока управления фазовыми регуляторами напряжения № 2014617596, 28.07.2014г., Российская Федерация / А. В. Кайченков, А. Р. Власова, И.Ю. Селяков и др.; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»).

160. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ Пятиканальный программный ШИМ для управления вентиляторами постоянного тока № 2014617477, 23.07.2014г., Российская Федерация / А. В. Кайченков, А. Р. Власова, И.Ю. Селяков и др.; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»).

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

162. Селяков И. Ю. Повышение энергоэффективности процессов конвективного обезвоживания при производстве копчёной и вяленой рыбы: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.12; 05.13.06 / Селяков Илья Юрьевич. – Мурманск, 2015. – 209 с.

163. Сердобинцев С. П. Модели и алгоритмы адаптации режимов термической обработки рыбных продуктов : автореферат дис. ... доктора технических наук : 05.13.07 / Калининград. гос. техн. ун-т. - Калининград, 1996. - 53 с.

164. Совершенствование методики изучения температурного поля греющей среды аппаратов периодического действия для стерилизации консервов» / А.В. Кайченев, А.В. Власов, А.А. Маслов // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2009» [Электронный ресурс]. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (181 Мб)- Мурманск: МГТУ, 2009. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0320900170 от 25.05.09 г.

165. Совершенствование способа стерилизации консервов из гидробионтов / А. В. Кайченев, В. А. Гроховский, А. А. Маслов [и др.] // Рыбное хозяйство. – 2011. – № 3. – С. 112-113. – EDN OCPQVL.

166. Совершенствование стерилизационной установки на базе модернизированного медицинского стерилизатора ВК-30 / А. А. Маслов, А. В. Власов, А. В. Кайченев [и др.] // Вестник МГТУ : труды Мурман. гос. техн. ун-та. – Мурманск, 2009. – Т. 12, № 2. – С. 263-268.

167. Современные методы идентификации систем : пер. с англ. / П. Эйкхофф [и др.] ; под ред. П. Эйкхоффа. – М. : Мир, 1983. – 400 с.

168. Современные системы управления коптильными и сушильными печами» / И.Ю. Селяков, А.В. Власов, А.В. Кайченев [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2014» [Электронный ресурс]. Мурманск, 24 - 28 марта 2014 г. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (20,4 Мб)- Мурманск: МГТУ, 2014. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321401155 от 15.10.14 г.

169. Создание, настройка и тестирование системы автоматического управления технологическим процессом стерилизации консервов с использованием имитационной модели / С. А. Мокрушин, И. Г. Благовещенский, М. М. Благовещенская [и др.] // Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности : Сборник материалов конференции, Москва, 23 апреля 2019 года. – Москва: федеральное государственное

бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Московский государственный университет пищевых производств", 2019. – С. 100-109. – EDN BYZACK.

170. Сопоставление модернизированного и ступенчатого способов стерилизации консервов / А.В. Власов, А.Р. Власова, А.В. Кайченев [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2013» [Электронный ресурс]. Мурманск, 4 - 11 марта 2013 г. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (31,5 Мб)- Мурманск: МГТУ, 2013. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321301202 от 04.03.14 г.

171. Сопоставление модернизированного и традиционного способов стерилизации консервов / А.В. Кайченев, 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.

172. Способ контроля режима стерилизации консервов : пат. 2331321 Рос. Федерация : МПК7 А 23 L 3/00, G 01 N 33/02 / Квасенков Олег Иванович, Ломачинский Станислав Владиславович, Бабарин Виктор Петрович, Филиппович Виталий Павлович ; патентообладатель Всерос науч.-исслед. ин-т консервной и овощесушильной промышленности (гос. науч. учреждение). – № 2007108038/13 ; заявл. 05.03.2007 ; опубл. 20.08.2008.

173. Стерилизующий эффект – основа управления процессом стерилизации консервов / В. А. Бутник [и др.] // Рыб. хоз-во. – 2001. – №4. – С. 49-50.

174. Столянов, А. В. Комплекс программных средств для оптимизации этапа предварительного подбора режимов стерилизации консервов из гидробионтов / А. В. Столянов, А. В. Кайченев, А. В. Власов // Наука - производству : Материалы международной научно-практической конференции, Мурманск, 18–20 апреля 2018 года. – Мурманск: Мурманский государственный технический университет, 2018. – С. 86-89. – EDN VKNYRO.

175. Столянов, А. В. Разработка программного обеспечения для оптимизации этапа предварительного подбора режимов стерилизации консервов из гидробионтов / А. В. Столянов, А. В. Кайченев // Наука - производству : Материалы международной научно-практической конференции, Мурманск, 14–19 апреля 2017 года / Мурманский государственный технический университет. – Мурманск: Мурманский государственный технический университет, 2017. – С. 77-81. – EDN YOLFET.

176. Столянов, А. В. Совершенствование этапа предварительного подбора режимов стерилизации консервов из гидробионтов с использованием программного обеспечения / А. В. Столянов, А. В. Кайченев, Л. К. Куранова // Наука - производству : Материалы международной научно-практической конференции, Мурманск, 22–25 марта 2016 года / Мурманский государственный технический университет. – Мурманск: Мурманский государственный технический университет, 2016. – С. 93-98. – EDN WKRZYB.

177. Стратегия развития рыбохозяйственного комплекса до 2030 года. URL: <https://fish.gov.ru/wp-content/uploads/documents/files/proekt-strategiya-2030.pdf> (дата обращения: 12.06.2022).

178. Технология рыбы и рыбных продуктов / Б. Б. Баранов, И. Э. Бражная, В. А. Гроховский [и др.] ; под ред. А. М. Ершова. – М. : Колос, 2010. – 1064 с.

179. Указ Президента Российской Федерации Путина В.В. от 09.05.2017 № 203 "О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017 - 2030 годы". [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://static.kremlin.ru/media/acts/files/0001201705100002.pdf>. (дата обращения 12.06.2022).

180. Указ Президента Российской Федерации Путина В.В. от 07.05.2018 № 204 " О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года ". [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://static.kremlin.ru/media/acts/files/0001201805070038.pdf>. (дата обращения 12.06.2022).

181. Усовершенствование стерилизационной установки АВК-30 / А. В. Власов, А. В. Кайченков, А. А. Маслов, А. Р. Власова, В. В. Яценко // Наука и образование – 2011 [Электронный ресурс] : междунар. науч.-техн. конф., Мурманск, 4-8 апреля 2011 г. / Мурман. гос. техн. ун-т, Ун-т Тромсё. - Электрон. текст дан. (131 Мб). – Мурманск : МГТУ, 2011. - С. 1223-1227. – Гос. рег. НТЦ "Информрегистр» № 0321100504.

182. Флауменбаум, Б. Л. Основы консервирования пищевых продуктов / Б. Л. Флауменбаум. – М. : Лег. и пищ. пром-сть., 1982. – 272 с.

183. Фуднет / АСИ. - Екатеринбург: Издательские решения, 2017. - Т. 26 (Серия 04. НТИ: большая ставка). - 62 с.

184. Эйкхофф, П. Основы идентификации систем управления. Оценивание параметров и состояния / П. Эйкхофф : пер. с англ. В. А. Лотоцкого, А. С. Манделя ; под ред. А. С. Райбмана. – М. : Мир, 1975. – 686 с.

185. Экономичная методика разработки режимов стерилизации консервов из гидробионтов для промышленных автоклавов / А. Столянов, А. Кайченков, 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.

186. Яхьяева Г.Э. Нечеткие множества и нейронные сети. М.: ИНТУИТ, 2014. 320 с.

187. Abakarov A (2011) Thermal food processing computation software. International Congress on Engineering and Food (ICEF 11), 2011. URL: <http://www.icef11.org/content/papers/mcf/MCF012.pdf>.

188. Abakarov A et al (2009) Thermal processing optimization through a modified adaptive random search. Journal of Food Engineering. 2009. doi:10.1016/j.jfoodeng.2009.01.013.

189. Abakarov A (2011) Software packages for food engineering needs. 2nd International conference on Biotechnology and Food Science, 7: 27-31, IACSIT Press, Singapore, 2011.

190. Abakarov A (2010) Optimization of the food sterilization process in autoclaves. In: Young scientist. <http://moluch.ru/archive/22/2225>. Accessed 29 Nov 2021
191. Abakarov A, Nuñez M (2013) Thermal food processing optimization: Algorithms and software. *J Food Eng* 115(4):428–442. doi:10.1016/j.jfoodeng.2012.02.013
192. Almonacid-Merino SF, Simpson R, Torres JA (1993) Time-variable retort temperature profiles for cylindrical cans: Batch process time, energy consumption, and quality retention model. *J Food Process Eng* 16:271–287
193. ASCA-Consulting GmbH [Electronic resource]. – URL: <http://www.asca-consulting.com/index.html>.
194. Astroem, K. J. Adaptive control. Second edition / K. J. Astroem, B. Wittenmark. – N. Y. : Dover Publications Inc, 2008. – 574 p.
195. Aubourg SP et al (2001) Review: Loss of quality during the manufacture of canned fish products. *Food Science and Technology International*. 2001. doi: 10.1106/4H8U-9GAD-VMG0-3GLR. Durance T.D. Improving canned food quality with variable retort temperature processes. *Trends in Food Science & Technology*. 1997. doi: 10.1016/S0924-2244(97)01010-8.
196. Banga JR et al (1991) Optimization of thermal processing of conduction-heated canned foods: Study of several objective functions. *J Food Eng* 14:25–51
197. Bemporad A., Morari M., Ricke N.L. Model Predictive Control Toolboxtrade; Getting Started Guide. URL: <http://cse.lab.imtlucca.it/~bemporad/publications/papers/escape10.pdf> (дата обращения: 12.06.2022).
198. Berk Z, *Food Process Engineering and Technology*, 399-420 (2018) doi: 10.1016/B978-0-12-812018-7.00017-8
199. Boye J. *Green Technologies in Food Production and Processing* / Joyce Boye, Yves Arcand // *Food Engineering Series*. – Springer Science & Business Media, 2012. – 681 p.

200. Chen, C. F. Elements of Control System Analysis / C. F. Chen, I. J. Hass. - Prentice Hall : Academic Press, 1968. – 435 p.
201. Chen CR, Ramaswamy HS (2002) Modeling and optimization of variable retort temperature (VRT) thermal processing using coupled neural networks and genetic algorithms. J Food Eng 53(3):209–220
202. Chen CR, Ramaswamy HS (2004) Multiple Ramp-variable Retort Temperature Control for Optimal Thermal Processing. FOOD BIOPROD PROCES 82(1):78–88
203. Chen C, H Ramaswamy, Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 46(7), 603-613 (2007) doi:10.1016/j.cep.2006.08.003
204. 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. – EDN JAIPOZ.
205. Complex for modeling and optimization the sterilization process / A. Stolyanov, A. Zhuk, A. Vlasov [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.
206. Davies, W. D. T. System Identification for Self Adaptive Control / W. D. T. Davies. – Wiley : Academic Press, 1970. – 435 p.
207. Deák T, Encyclopedia of Food Safety, 219-224 (2014) doi:10.1016/B978-0-12-378612-8.00257-2
208. 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/kls.v5i1.6103. – EDN YNKKIR.

209. Durance TD (1997) Improving canned food quality with variable retort temperature processes. *Trends Food Sci Technol* 8(4):113–118

210. Durance TD, Dou J, Mazza J (1997) Selection of variable retort temperature processes for canned salmon. *J Food Process Eng* 20: 65–76

211. Garcia L.A., Arguesso F., Garcia A.I., Diaz M. Application of neural networks for controlling and predicting quality parameters in beer fermentation – *Journal of industrial microbiology*, 1995

212. Ghani A. G. A. et al. Thermal sterilization of canned food in a 3-D pouch using computational fluid dynamics // *Journal of Food Engineering*. – 2001. – Т. 48. – №. 2. – С. 147-156.

213. Gonçalves E. C. et al. Modeling sterilization process of canned foods using artificial neural networks // *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*. – 2005. – Т. 44. – №. 12. – С. 1269-1276. 94. Hiddink J. Natural convection heating of liquids, with reference to sterilization of canned food. – Centre for Agricultural Publishing and Documentation Pudoc, 1975.

214. Graupe, D. Identification of systems / D. Graupe. – N. Y. : Robert E. Krieger publishing company, 1976. – 304 p.

215. F - ЭФФЕКТ - ОСНОВА управления процессом стерилизации консервов / А.В. Кайченнов, В.А. Гроховский // *Збірник праць за підсумками Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених, аспірантів і студентів*. Київ: НУБіП України, 2011.

216. Farid M., Ghani A. G. A. A new computational technique for the estimation of sterilization time in canned food // *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*. – 2004. – Т. 43. – №. 4. – С. 523-531.

217. Fellows PJ, *Food Processing Technology*, 563-580 (2017) doi:10.1016/B978-0-08-100522-4.00011-0

218. Holdsworth SD, Simpson R (2016) Thermal Processing of Packaged Foods. *Food Engineering Series*. doi: 10.1007/978-3-319-24904-9.

219. Lafont, F. Optimized fuzzy control of a greenhouse / F. Lafont, J.-F. Balmat / *Fuzzy Sets and Systems*. – 2002. – Vol. 128, Issue 1. – P. 47–59.
220. Llave Y. A., Hagiwara T., Sakiyama T. Artificial neural network model for prediction of cold spot temperature in retort sterilization of starch-based foods // *Journal of Food Engineering*. – 2012. – T. 109. – №. 3. – C. 553-560.
221. Maciejowski JM, *Predictive Control with Constraints*. Harlow, England: Prentice Hall, 2002. - 331 p.
222. Miri T. et al. Global optimization of process conditions in batch thermal sterilization of food // *Journal of food engineering*. – 2008. – T. 87. – №. 4. – C. 485-494.
223. Mokrushin SA et al (2020) Simulation of the technological process of sterilization of canned food in an industrial autoclave. *Storage and processing of Farm Products* 1:118-126. doi:10.36107/spfp.2020.157
224. Noronha J et al (1993) Optimization of surface quality retention during the thermal processing of conduction heated foods using variable temperature retort profiles. *J Food Process Preserv* 51:1297–1301
225. Optimal sterilization temperatures for conduction heating foods considering finite surface heat transfer coefficients / C. Silva, M. Hendrickx, F. Oliveria, P. Tobback // *J. Food Sci.* - 1992. – Vol. 57, № 3. - P. 743-748.
226. Pikina, G.A., Pashchenko, F.F., Pashchenko, A.F. Methods to improve accuracy of typical controllers based on predictive algorithms. // *Proceed-ings of the 2013 IEEE 8th Conference on Industrial Electronics and Appli-cations, ICIEA 2013*, pp. 613-616. 98. Shavsavand A., Nozari Y. Simulation of a continuous thermal sterilization process in the presence of solid particles // *Scientia Iranica. Transaction C, Chemistry, Chemical Engineering*. – 2009. – T. 16. – №. 1. – C. 29.
227. Press WH, Teukolsky SA, Vetterling WT, Flannery BP (2007) *Numerical Recipes: The Art of Scientific Computing*. New York: Cambridge University Press
228. Qi-Yuan Liu. Dietary Fish Oil and Vitamin E Enhance Doxorubicin Effects in P388 Tumor-Bearing Mice / Qi-Yuan Liu, Benny K. H. Tan. // *Lipids*. – 2002. - Vol. 37, № 6. - P. 549–556.

229. Ramaswamy Food Processing: Principles and Applications / Hosahalli S. Ramaswamy, Michele Marcotte. – CRC Press, 2005. – 440 p
230. Silva, C. L. M. Optimization of Thermal Processing Conditions: Objectives, Opportunities and Challenges / C. L. M. Silva // Process Optimisation and Minimal Processing of Foods. – 1996. – Warsaw. – P. 1–17.
231. Silva F et al, Encyclopedia of Food Microbiology, 577-595 (2014) doi:10.1016/B978-0-12-384730-0.00404-3
232. Silva C. et al. Optimal sterilization temperatures for conduction heating foods considering finite surface heat transfer coefficients //Journal of food science. – 1992. – T. 57. – №. 3. – C. 743-748. 100. Siritwatanayotin S. et al. Simulation of sterilization of canned liquid food using sucrose degradation as an indicator //Journal of Food Engineering. – 2006. – T. 73. – №. 4. – C. 307-312.
233. Simpson R et al (2008) Variable retort temperature optimization using adaptive random search techniques. Food Control. 2008. doi: 10.1016/j.foodcont.2007.10.010.
234. Simpson R et al (2019) Simultaneous multi-product sterilization: Revisited, explored, and optimized. J Food Eng 241:149–158. doi:10.1016/j.jfoodeng.2018.08.007
235. Simpson R et al (2020) Assessment and outlook of variable retort temperature profiles for the thermal processing of packaged foods: Plant productivity, product quality, and energy consumption. J Food Eng. doi:10.1016/j.jfoodeng.2019.109839
236. Simpson et al, Reference Module in Food Science, (2016) doi: 10.1016/B978-0-08-100596-5.03231-5
237. Singh RP, Heldman DR, Introduction to Food Engineering, 421-474 (2014) doi:10.1016/B978-0-12-398530-9.00005-X
238. 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. – EDN VQZLFF.

239. Soloway, D., and P.J. Haley, “Neural Generalized Predictive Control,” Proceedings of the 1996 IEEE International Symposium on Intelligent Control, 1996, pp. 277–281.

240. 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. – EDN MIWCTX.

241. Stumbo, C. Thermobacteriology in Food Processing, 2nd ed. / C. Stumbo. - N. Y. : Academic Press, 1973. – 250 p.

242. Sun D.W. Modern Techniques for food authentication – Academic Press, 2008.

243. Systems modelling and Identification / P. Eykhoff, P. M. E. M. Van der Grinten, H. Kwakernaak, B. P. T. Veltman // Survey Paper 2, Proc of IFAC Congress / отв. - London, 1966. – P.573.

244. Technological safety and the production system / S. R. Bakasov, Y. N. Matveev, V. N. Bogatikov [et al.] // International Journal of Recent Technology and Engineering. – 2019. – Vol. 8. – No 2 S10. – P. 734-736. – DOI 10.35940/ijrte.B1131.0982S1019. – EDN OTTJCY.

245. Teixeira AA, Zinmeister GE, Zahradnik JW (1975) Computer simulation of variable retort control and container geometry as a possible means of improving thiamine retention in thermally processed foods. J Food Sci 40: 656–659

246. Wilson C.I. Threapleton L. Application Of Artificial Intelligence For Predicting Beer Flavours From Chemical Analysis - European Brewery Convention, from Proceedings of the 29th EBC Congress – Dublin, 2003.

247. Xiang BY (2003) Comparison of constant retort temperature and variable retort temperature thermal processes for quality improvement or cost reduction of conduction-heated canned foods. Dissertation, University of British Columbia

СПИСОК РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Публикации в изданиях, включенных в Перечень ВАК РФ:

1. Идентификация параметров численной математической модели стерилизационной камеры судового автоклава ASCAMAT 230 с целью разработки оптимальной системы автоматического управления / А. В. Кайченев, 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. – EDN YLUBLP.

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

3. Исследование температурного поля промышленного автоклава ASCAMAT-230 / А. Столянов, А. Кайченев, 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.

4. Маслов, А. А. Исследование динамики теплообмена в стерилизационной камере автоклава / А. А. Маслов, А. В. Власов, А. В. Кайченев // Рыбное хозяйство. – 2009. – № 6. – С. 77-79. – EDN KZSECZ.

5. Оптимизация процесса стерилизации консервов в водной среде в автоклаве АВК-30М / А.В. Кайченев, 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.

6. Оценка энергоэффективности введения режимов релаксации на универсальной коптильно-сушильной установке / И. Ю. Селяков, А. А. Маслов, А. В. Кайченев [и др.] // Рыбное хозяйство. – 2013. – № 6. – С. 111-115. – EDN RWGHOD.

7. Повышение эффективности процесса получения коптильных препаратов / А.А. Маслов, А.Р. Власова, А.В. Власов, В.В. Яценко, А.В. Кайченев, 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.

8. Предварительный подбор режима стерилизации консервов "Скумбрия атлантическая натуральная с добавлением масла" на основе разработанных математических моделей процесса / А. Маслов, А. Столянов, А. Кайченев, 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.

9. Применение моделирования режимов тепловой стерилизации для улучшения показателей качества консервной продукции / А. Столянов, А. Кайченев, 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.

10. Радиочастотные методы инвариантной уровнеметрии диэлектрических жидкостей в резервуарах / А. С. Совлуков, В. В. Яценко, А. В. Кайченев, А. М. Прохоренков // Датчики и системы. – 2021. – № 3(256). – С. 42-50. – DOI 10.25728/datsys.2021.3.5. – EDN VOVBVP.

11. Разработка модели автоклава для тренажера процесса стерилизации / А. В. Власов, А. Р. Власова, А. В. Кайченев [и др.] // Рыбное хозяйство. – 2015. – № 6. – С. 106-109. – EDN VOMAON.

12. Разработка математической модели малогабаритной установки для поиска оптимальных режимов / И. Ю. Селяков, А. А. Маслов, А. В. Кайченев [и др.] // Рыбное хозяйство. – 2014. – № 3. – С. 108-113. – EDN TCWUNX.

13. Разработка режимов стерилизации консервов из гидробионтов с использованием средств вычислительной техники / Кайченев А.В., Власов А.В.,

Маслов А.А., Селяков И.Ю., Власова А.Р. // Вестник МГТУ. 2014. Т. 17, № 1. С. 46-52. URL: http://vestnik.mstu.edu.ru/v17_1_n56/46_52_kayche.pdf.

14. Разработка технологии оценки состояния промышленных систем на основе показателя безопасности и принятие решений целеустремлённого поведения агента / В. Н. Богатиков, А. А. Маслов, А. В. Кайченев [и др.] // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. – 2013. – Т. 16. – № 4. – С. 654-662. – EDN RRVITR.

15. Реализация программы управления сушильной установкой для обеспечения комбинированных режимов обезвоживания с линейно изменяющимся временем релаксации рыбы / И. Ю. Селяков, А. А. Маслов, М. А. Ершов [и др.] // Рыбное хозяйство. – 2014. – № 3. – С. 126-128. – EDN TCWUPB.

16. Совершенствование системы охлаждения абсорбционной установки / В. Похольченко, А. Иваней, Никонова, А. Кайченев // Вестник МГТУ. 2016. Т. 19, № 4. С. 869-877. URL: http://vestnik.mstu.edu.ru/v19_4_n68/24_Pocholchenko_869_877.pdf.

17. Совершенствование способа стерилизации консервов из гидробионтов / А. В. Кайченев, В. А. Гроховский, А. А. Маслов [и др.] // Рыбное хозяйство. – 2011. – № 3. – С. 112-113. – EDN OCPQVL.

18. Совершенствование стерилизационной установки на базе модернизированного медицинского стерилизатора ВК-30 / А.А. Маслов, А.В. Власов, А.В. Кайченев, 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.

19. Сопоставление модернизированного и традиционного способов стерилизации консервов / А.В. Кайченев, 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.

20. Способ оптимального управления температурой в автоклаве на основе регулятора "с предсказанием" / А.А. Маслов, А.В. Власов, А.В. Кайченев, 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.

21. Экономичная методика разработки режимов стерилизации консервов из гидробионтов для промышленных автоклавов / А. Столянов, А. Кайченков, 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.

II. Научные публикации в прочих изданиях:

22. 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. Р. Власова [и др.] ; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Мурманский государственный технический университет" (ФГОУВПО "МГТУ"). – EDN ILQEAR.

23. Патент на полезную модель № 129365 U1 Российская Федерация, МПК А23В 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. Кайченков, А. А. Маслов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Мурманский государственный технический университет" (ФГБОУВПО "МГТУ"). – EDN ZWNVFZ.

24. Патент на полезную модель № 136962 U1 Российская Федерация, МПК А23В 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. Кайченков, А. А. Маслов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Мурманский государственный технический университет". – EDN YKRGLW.

25. Патент на полезную модель № 136963 U1 Российская Федерация, МПК А23В 4/044. Дымогенератор : № 2013126807/13 : заявл. 11.06.2013 : опубл. 27.01.2014 / А. Р. Власова, А. В. Власов, А. В. Кайченков, А. А. Маслов ;

заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Мурманский государственный технический университет". – EDN XQAQMZ.

26. 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. Кайченков ; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Мурманский государственный технический университет". – EDN XNVSNA.

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

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

29. 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. Кайченков, А.А. Маслов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»).

30. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ MiST. Подпрограмма «Блокировка» для АВК-30М №2011619192, 29.11.2011г.,

Российская Федерация / А. В. Власов, А. В. Кайченков, А.Р. Власова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»).

31. 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. Кайченков, И. Ю. Селяков [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»). – EDN LMBBDV.

32. 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. Кайченков, А. В. Власов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «МГТУ»). – EDN GTLUAI.

33. 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, М. А. Ершов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»). – EDN MBRTPT.

34. 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,

М. А. Ершов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»). – EDN TAMNFO.

35. 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, М. А. Ершов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»). – EDN RBOFGM.

36. 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. Кайченков, И. Ю. Селяков [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»). – EDN SDSNQZ.

37. 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. Кайченков, И. Ю. Селяков [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»). – EDN GVBSLC.

38. 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. Кайченков, И. Ю. Селяков [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»). – EDN ХСВВВВ.

39. 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. Кайченков, И. Ю. Селяков [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»). – EDN ОУСЛСВ.

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

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

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

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

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

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

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

47. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ Модуль подсчета, электроэнергии затраченной на технологический процесс № 2014617422, 21.07.2014г., Российская Федерация / А. В. Кайченков, А. Р. Власова, 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 Модуль задания режимов релаксации № 2014660787, 15.10.2014г., Российская Федерация / А. В. Кайченков, А. Р. Власова, И.Ю. Селяков и др.; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»).

49. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ Построение графиков по данным в формате .ods и моделирование объекта №2012615577, 20.06.2012г., Российская Федерация / А. В. Власов, А. В. Кайченков, А.А. Маслов и др. ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»).

50. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ Преобразование архивных данных трендов 3S CodeSys в структурированный численный вид №2012616384, 12.07.2012г., Российская Федерация / А. В. Власов, А. В. Кайченков, 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 Программа управления секциями установки для поиска оптимальных технологических режимов №2014617478 , 23.07.2014г., Российская Федерация / А. В. Кайченков, А. Р. Власова, И.Ю. Селяков и др.; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»).

52. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ Программа пятиканального блока управления фазовыми регуляторами напряжения № 2014617596, 28.07.2014г., Российская Федерация / А. В. Кайченев, 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 Пятиканальный программный ШИМ для управления вентиляторами постоянного тока № 2014617477, 23.07.2014г., Российская Федерация / А. В. Кайченев, А. Р. Власова, И.Ю. Селяков и др.; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»).

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

III. Доклады на научных конференциях:

55. 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. – EDN JAIPOZ.

56. Complex for modeling and optimization the sterilization process / A. Stolyanov, A. Zhuk, A. Vlasov [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.

57. 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. – EDN YNKKIR.

58. F - ЭФФЕКТ - ОСНОВА управления процессом стерилизации консервов / А.В. Кайченев, В.А. Гроховский //Збірник праць за підсумками Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених, аспірантів і студентів. Київ: НУБіП України, 2011.

59. 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. – EDN VQZLFF.

60. 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. – EDN MIWCTX.

61. Автоматизация контроля и управления процессом копчения / А.В. Кайченoв, В.А. Аминов, А.А. Маслов // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2011» [Электронный ресурс]. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (30,1Мб)- Мурманск: МГТУ, 2011. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321100504 от 13.12.11 г.

62. Автоматическая система управления микроклиматом на базе микропроцессорных регуляторов «ОВЕН» / А.В. Кайченoв, А.А. Маслов // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2007» [Электронный ресурс]. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (18 Мб)- Мурманск: МГТУ, 2007. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0320700491 от 05.03.07.

63. Анализ амплитудно-частотных характеристик схемы замещения радиочастотного датчика / А.В. Власов, А.Р. Власова, А.В. Кайченoв [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2011» [Электронный ресурс]. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (30,1Мб)- Мурманск: МГТУ, 2011. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321100504 от 13.12.11 г.

64. Власов А.В. Оптимизация процесса стерилизации паром в автоклавах периодического действия / А. В. Власов, А. В. Кайченoв ; Мурман. гос. техн. ун-т. – Мурманск, 2008. – 6 с., ил. – Библиогр.: 3 назв. – Деп. в ВИНТИ 10.11.2008, № 867-B2008. 19

65. Власов, А. В. Пути повышения эффективности процесса стерилизации в автоклавах периодического действия / А. В. Власов, А. В. Кайченoв, А. А. Маслов // Наука и образование – 2009 [Электронный ресурс] : междунар. науч.-техн. конф., Мурманск, 1–9 апреля 2009 г. / МГТУ. – Электрон. текст. дан. (181 Мб). – Мурманск : МГТУ, 2009. – 1 электрон. опт. диск (CD-

ROM). – С. 373–376. – Гос. рег. НТЦ "Информрегистр" № 0320900170 от 25.05.09.

66. Власов, А. В. Разработка системы контроля и управления процессом стерилизации консервов в автоклавах периодического действия / А. В. Власов, А. В. Кайченков, А. А. Маслов // Молодежь и современные информационные технологии : сб. тр. VII Всерос. науч.-практ. конф. студ., аспирантов и молодых ученых / ТПУ. – Томск, 2009. – С. 42–43.

67. Внедрение систем автоматического управления на базе современных средств автоматизации «ОВЕН» в учебный процесс и производство» / А.А. Маслов, А.Ю. Висков, А.В. Кайченков [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2012» [Электронный ресурс]. Мурманск, 2 - 6 апреля 2012 г. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (28,6Мб)- Мурманск: МГТУ, 2012. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321201101 от 20.12.12 г.

68. Внедрение технических и программных средств автоматизации «ОВЕН» в учебный процесс и производство / А.В. Кайченков, А.В. Власов, А.А. Маслов // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2010» [Электронный ресурс]. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (139 Мб)- Мурманск: МГТУ, 2010. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321000362 от 12.08.10 г.

69. Гроховский, В.А. Исследование теплообмена в консервной банке конической формы / А. В. Кайченков, В. А. Гроховский // Наукові здобутки молоді у вирішенні актуальних проблем виробництва та переробки сировини, стандартизації і безпеки продовольства з б і р н и к т е з. д о п о в і д е й за підсумками Міжнар. науково-практ. конф. молодих вчених, аспірантів і студентів / НУБіП України. – Київ, 2011, - С. 214-216.

70. Гроховский, В.А. Модернизированный способ стерилизации консервной продукции / А. В. Кайченков, В. А. Гроховский, А.А. Маслов // Наука

и образование – 2011 [Электронный ресурс] : междунар. науч.-техн. конф., Мурманск, 4–8 апреля 2011 г. / МГТУ. – Электрон. текст. дан. (43 Мб). – Мурманск : МГТУ, 2011.-(НТЦ "Информрегистр". - № гос. регистрации 0321100504.- С. 870-874.

71. Жук, А. А. Автоматизация автоклава АВК-30М для проведения научных исследований в области пастеризации продуктов из гидробионтов / А. А. Жук, А. В. Кайченев // Наука - производству : Материалы международной научно-практической конференции, Мурманск, 18–20 апреля 2018 года. – Мурманск: Мурманский государственный технический университет, 2018. – С. 41-45. – EDN YMBCDB.

72. Жук, А. А. Автоматизация промышленного автоклава АСКАМАТ-230 для проведения научных исследований в области тепловой обработки продуктов из гидробионтов / А. А. Жук, А. В. Кайченев // Молодая наука Арктики : сборник материалов регионального молодежного форума, посвященного 123-летию со дня рождения великого русского исследователя Арктики И. Д. Папанина, Мурманск, 16–17 ноября 2017 года / Мурманский государственный технический университет. – Мурманск: Мурманский государственный технический университет, 2017. – С. 18-21. – EDN HDEMRG.

73. Жук, А. А. Автоматическое управление процессом пастеризации продуктов из гидробионтов - перспективный метод разработки и производства полезной консервной продукции / А. А. Жук, А. В. Кайченев, Л. К. Куранова // Наука - производству : Материалы международной научно-практической конференции, Мурманск, 14–19 апреля 2017 года / Мурманский государственный технический университет. – Мурманск: Мурманский государственный технический университет, 2017. – С. 34-37. – EDN YOLFBQ.

74. Жук, А. А. Пастеризация продуктов из гидробионтов: обзор современных исследований и проблематика / А. А. Жук, А. В. Кайченев // Современные эколого-биологические и химические исследования, техника и технология производств : МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ, в 2х частях, Мурманск, 07 апреля 2017

года / Мурманский государственный технический университет. – Мурманск: Мурманский государственный технический университет, 2017. – С. 70-74. – EDN YOLFZW.

75. Идентификация параметров модели нелинейного объекта с помощью нейронных сетей / А.В. Власов, А.Р. Власова, А.В. Кайченков [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2012» [Электронный ресурс]. Мурманск, 2 - 6 апреля 2012 г. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (28,6Мб)- Мурманск: МГТУ, 2012. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321201101 от 20.12.12 г.

76. Изучение возможностей облачного сервиса Owencloud при работе комплекса для разработки и отладки проектов АСУ ТП / В. В. Яценко, А. В. Кайченков, А. И. Кайченкова, А. А. Маслов // Наука и образование - 2018 : Материалы всероссийской научно-практической конференции, Мурманск, 15 ноября 2018 года. – Мурманск: Мурманский государственный технический университет, 2019. – С. 345-349. – EDN ZPVGKT.

77. Использование облачного сервиса "ОВЕН" в учебном процессе и научной работе кафедры автоматики и вычислительной техники / А. В. Кайченков, А. А. Маслов, В. В. Яценко [и др.] // Наука и образование в Арктическом регионе : Материалы Международной научно-практической конференции, Мурманск, 22–24 мая 2019 года. – Мурманск: Мурманский государственный технический университет, 2019. – С. 26-29. – EDN WLKZYK.

78. Исследование модернизированного способа стерилизации консервов «Печень трески натуральная» / А.В. Власов, А.Р. Власова, А.В. Кайченков [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2012» [Электронный ресурс]. Мурманск, 2 - 6 апреля 2012 г. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (28,6Мб)- Мурманск: МГТУ, 2012. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321201101 от 20.12.12 г.

79. Исследование наименее прогреваемой области в банке Impress / А.В. Кайченев, В.А. Гроховский, А.А. Маслов [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2011» [Электронный ресурс]. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (30,1Мб)- Мурманск: МГТУ, 2011. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321100504 от 13.12.11 г.

80. Исследование особенностей применения радиоволновых методов для автоматизации процессов получения жидких пищевых сред / В.В. Яценко, А.А. Маслов, А.В. Кайченев [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2011» [Электронный ресурс]. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (30,1Мб)- Мурманск: МГТУ, 2011. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321100504 от 13.12.11 г.

81. Исследование системы автоматического управления процессом вяления рыбной продукции на базе ОВЕН ТРМ148 / А.В. Кайченев, В.В. Шкода // Сборник тезисов студенческой научно-технической конференции - 2012. – Мурманск: МГТУ, 2012.

82. Исследование температурного поля в консервах при стерилизации в автоклавах периодического действия / А.В. Кайченев, А.В. Власов, А.А. Маслов // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов VIII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Томск, 2010.

83. Исследование температурного поля в стерилизационной камере автоклава с использованием теории планирования активного эксперимента / А.В. Кайченев, А.В. Власов, А.А. Маслов // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного производства, технология и надежность машин, приборов и оборудования: Материалы третьей международной научно-технической конференции.– Т1. Вологда, 2007.

84. К вопросу о методах определения стерилизующего эффекта при производстве консервов в автоклавах периодического действия / А.В. Кайченев,

А.В. Власов, А.А. Маслов // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2010» [Электронный ресурс]. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (139 Мб)- Мурманск: МГТУ, 2010. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321000362 от 12.08.10 г.

85. Кайченев, А. В. Модернизация системы автоматического управления сушильной установкой / А. В. Кайченев, 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. – С. 56-59. – EDN YMBCDZ.

86. Кайченев, А. В. Разработка Web-визуализации системы автоматического управления процессом стерилизации пищевых продуктов / А. В. Кайченев, В. В. Яценко, А. И. Кайченева // Наука - производству : Материалы международной научно-практической конференции, Мурманск, 18–20 апреля 2018 года. – Мурманск: Мурманский государственный технический университет, 2018. – С. 52-55. – EDN BDVHXX.

87. Кайченев, А. В. Разработка системы автоматического управления для тренажера процесса стерилизации пищевых продуктов на базе технических средств автоматизации "ОВЕН" / А. В. Кайченев, И. Ю. Селяков, А. А. Маслов // Наука - производству : Материалы международной научно-практической конференции, Мурманск, 22–25 марта 2016 года / Мурманский государственный технический университет. – Мурманск: Мурманский государственный технический университет, 2016. – С. 60-64. – EDN WKRZQT.

88. Комплекс для повышения эффективности процесса стерилизации консервной продукции / А.В. Кайченев, А. А. Маслов, А. В. Власов // Наука и образование: материалы всероссийской научно-практической конференции, Мурманск, 27 марта 2017 г. / Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Мурманский государственный технический университет". – Мурманск : Изд-во МГТУ, 2017.

89. Критерии оптимизации управления температурой в автоклаве при стерилизации паром / А.В. Кайченев, А.В. Власов, А.А. Маслов // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов VIII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Томск, 2010.

90. Малогабаритная сушильная установка / А.А. Маслов, А.В. Кайченев, В.А. Аминов [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2010» [Электронный ресурс]. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (139 Мб)- Мурманск: МГТУ, 2010. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321000362 от 12.08.10 г.

91. Малогабаритная сушильная установка для поиска оптимальных технологических режимов / А.В. Власов, А.Р. Власова, А.В. Кайченев [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2012» [Электронный ресурс]. Мурманск, 2 - 6 апреля 2012 г. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (28,6Мб)- Мурманск: МГТУ, 2012. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321201101 от 20.12.12 г.

92. Малогабаритная установка для поиска оптимальных технологических режимов / А.А. Маслов, А.В. Кайченев, И.Ю. Селяков [и др.] // Сборник научных статей XVIII-ой Международной научно-практической конференции «Инновация-2013» (16-18 октября 2013 г.) . – Ташкент: ЦСИИ, 2013. –

93. Математическое описание малогабаритного дымогенератора / А.В. Власов, А.Р. Власова, А.В. Кайченев [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2013» [Электронный ресурс]. Мурманск, 4 - 11 марта 2013 г. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (31,5 Мб)- Мурманск: МГТУ, 2013. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321301202 от 04.03.14 г.

94. Методика косвенной оценки параметров модели нагревания стерилизуемой консервной продукции» / А.В. Власов, А.Р. Власова, А.В. Кайченков [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2011» [Электронный ресурс]. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (30,1Мб)- Мурманск: МГТУ, 2011. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321100504 от 13.12.11 г.

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

96. Моделирование теплообмена в стерилизационной камере автоклава на этапах нагрева и собственно стерилизации» / А.В. Власов, А.Р. Власова, А.В. Кайченков [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2011» [Электронный ресурс]. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (30,1Мб)- Мурманск: МГТУ, 2011. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321100504 от 13.12.11 г.

97. Моделирование теплообмена в стерилизационной камере автоклава на этапе продувки / А.В. Власов, А.Р. Власова, А.В. Кайченков [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2012» [Электронный ресурс]. Мурманск, 2 - 6 апреля 2012 г. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (28,6Мб)- Мурманск: МГТУ, 2012. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321201101 от 20.12.12 г.

98. Модернизация малогабаритной установки для поиска оптимальных технологических режимов сушки сырья / В. В. Ерещенко, И. Ю. Селяков, А. А. Маслов [и др.] // Техника и технологии: пути инновационного развития : сборник научных трудов 4-ой Международной научно-практической конференции,

Курск, 30 июня 2014 года / Ответственный редактор: А.А. Горохов. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2014. – С. 110-114. – EDN SZJXJF.

99. Модернизация малогабаритной установки для поиска оптимальных технологических режимов сушки сырья / В. В. Ерещенко, И. Ю. Селяков, А. А. Маслов [и др.] // Перспективы развития науки и образования : Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: В 5 частях, Москва, 01 июля 2014 года / ООО "АР-Консалт". – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "АР-Консалт", 2014. – С. 8-12. – EDN STVHSL.

100. Модернизация системы автоматического управления малогабаритной установки для поиска оптимальных технологических режимов / А.А. Маслов, А.В. Кайченев, И.Ю. Селяков // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2013» [Электронный ресурс]. Мурманск, 4 - 11 марта 2013 г. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (31,5 Мб)- Мурманск: МГТУ, 2013. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321301202 от 04.03.14 г.

101. Модернизация системы автоматического управления промышленного автоклава ASCAMAT-230 для проведения научных исследований / А.В. Кайченев, А.А. Маслов, А.А. Жук [и др.] // Наука и образование: материалы всероссийской научно-практической конференции, Мурманск, 27 марта 2017 г. / Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Мурманский государственный технический университет". – Мурманск : Изд-во МГТУ, 2017.

102. Модули управления вентиляторами для малогабаритной установки для поиска оптимальных технологических режимов / И.Ю. Селяков, А.В. Власов, А.В. Кайченев [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2014» [Электронный ресурс]. Мурманск, 24 - 28 марта 2014 г. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (20,4 Мб)- Мурманск: МГТУ,

2014. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321401155 от 15.10.14 г.

103. Настройка регулятора температуры в дымогенераторе / А.В. Власов, А.Р. Власова, А.В. Кайченков [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2013» [Электронный ресурс]. Мурманск, 4 - 11 марта 2013 г. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (31,5 Мб)- Мурманск: МГТУ, 2013. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321301202 от 04.03.14 г.

104. Научные и практические разработки кафедры автоматике и вычислительной техники МГТУ / В. В. Яценко, А. В. Кайченков, А. И. Кайченкова, Я. А. Глухих // World science: problems and innovations : сборник статей XXIV Международной научно-практической конференции, Пенза, 30 сентября 2018 года. – Пенза: "Наука и Просвещение" (ИП Гуляев Г.Ю.), 2018. – С. 25-28. – EDN UZWAFM.

105. Непрерывный контроль массы сырья в процессе вяления рыбной продукции / А.А. Маслов, А.В. Кайченков, И.Ю. Селяков // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2013» [Электронный ресурс]. Мурманск, 4 - 11 марта 2013 г. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (31,5 Мб)- Мурманск: МГТУ, 2013. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321301202 от 04.03.14 г.

106. О возможных причинах завышения F-эффекта при стерилизации консервов / А.В. Кайченков, В.А. Гроховский, Л.К. Куранова [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2013» [Электронный ресурс]. Мурманск, 4 - 11 марта 2013 г. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (31,5 Мб)- Мурманск: МГТУ, 2013. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321301202 от 04.03.14 г.

107. О перспективных направлениях научных исследований в области повышения эффективности производства продуктов из гидробионтов / А.В. Власов, А.Р. Власова, А.В. Кайченков [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2013» [Электронный ресурс]. Мурманск, 4 - 11 марта 2013 г. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (31,5 Мб)- Мурманск: МГТУ, 2013. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321301202 от 04.03.14 г.

108. Об использовании технических и программных средств автоматизации "ОВЕН" в научных исследованиях и учебном процессе / А.В. Власов, А.Р. Власова, А.В. Кайченков [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2013» [Электронный ресурс]. Мурманск, 4 - 11 марта 2013 г. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (31,5 Мб)- Мурманск: МГТУ, 2013. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321301202 от 04.03.14 г.

109. Обзор методов многоцелевой оптимизации термической обработки продуктов / А. В. Столянов, А. В. Кайченков, А. А. Маслов [и др.] // Техника и технологии: пути инновационного развития : сборник научных трудов 4-ой Международной научно-практической конференции, Курск, 30 июня 2014 года / Ответственный редактор: А.А. Горохов. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2014. – С. 233-238. – EDN SZJXMH.

110. Оптимизация процесса стерилизации в воде консервов из гидробионтов» / А.В. Власов, А.Р. Власова, А.В. Кайченков [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2012» [Электронный ресурс]. Мурманск, 2 - 6 апреля 2012 г. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (28,6Мб)- Мурманск: МГТУ, 2012. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321201101 от 20.12.12 г.

111. Особенности работы программно-аппаратного комплекса для экспериментального исследования температурного поля в стерилизационной камере автоклава периодического действия» / А.В. Кайченков, А.В. Власов, А.А. Маслов // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2008» [Электронный ресурс]. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (20 Мб)- Мурманск: МГТУ, 2008. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0320800238 от 21.01.08 г.

112. Особенности работы с панелью оператора «ОВЕН» СП-270 в ходе проектирования стерилизационной установки АВК-30М» / А.В. Власов, А.Р. Власова, А.В. Кайченков [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2012» [Электронный ресурс]. Мурманск, 2 - 6 апреля 2012 г. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (28,6Мб)- Мурманск: МГТУ, 2012. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321201101 от 20.12.12 г.

113. Особенности разработки автоматической системы управления процессом стерилизации для стерилизационной установки АВК-30 / А.В. Кайченков, А.В. Власов, А.А. Маслов // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2009» [Электронный ресурс]. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (181 Мб)- Мурманск: МГТУ, 2009. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0320900170 от 25.05.09 г.

114. Особенности разработки автоматической системы управления универсальной коптильно-сушильной установкой / А.А. Маслов, В.А. Аминов, А.В. Кайченков [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2012» [Электронный ресурс]. Мурманск, 2 - 6 апреля 2012 г. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (28,6Мб)- Мурманск: МГТУ, 2012. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321201101 от 20.12.12 г.

115. Особенности управления стерилизационной установкой АВК-30 / А.В. Кайченев, А.В. Власов, А.А. Маслов // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2009» [Электронный ресурс]. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (181 Мб)- Мурманск: МГТУ, 2009. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0320900170 от 25.05.09 г.

116. Пайкачева, К. В. Анализ системы автоматического управления установкой для обезвоживания пищевых продуктов / К. В. Пайкачева, А. В. Кайченев // Наука - производству : Материалы международной научно-практической конференции, Мурманск, 14–19 апреля 2017 года / Мурманский государственный технический университет. – Мурманск: Мурманский государственный технический университет, 2017. – С. 50-55. – EDN YOLFCR.

117. Повышение эффективности работы установки для приготовления копильного препарата / А.В. Власов, А.Р. Власова, А.В. Кайченев [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2012» [Электронный ресурс]. Мурманск, 2 - 6 апреля 2012 г. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (28,6Мб)- Мурманск: МГТУ, 2012. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321201101 от 20.12.12 г.

118. Подбор параметров режимов стерилизации консервной продукции с использованием средств вычислительной техники / А.В. Кайченев, А.В. Власов, А.Ю. Висков [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2014» [Электронный ресурс]. Мурманск, 24 - 28 марта 2014 г. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (20,4 Мб)- Мурманск: МГТУ, 2014. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321401155 от 15.10.14 г.

119. Получение математической модели температурного поля в стерилизационной камере автоклава на основании результатов активного эксперимента / Ю. Т. Глазунов, А. М. Ершов, А. В. Кайченев [и др.] // Техника и технологии переработки гидробионтов и сельскохозяйственного сырья :

материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. памяти проф. Н. Н. Рулева, Мурманск, 24–25 апреля 2008 г. / Мурман. гос. техн. ун-т. – Мурманск, 2008. – С. 18–21.

120. Получение математической модели температурного поля в стерилизационной камере автоклава на основании результатов активного эксперимента / А.М. Ершов, В.А. Гроховский, А.В. Кайченков [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2008» [Электронный ресурс]. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (20 Мб)- Мурманск: МГТУ, 2008. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0320800238 от 21.01.08 г.

121. Постановка задачи идентификации динамических свойств объекта с помощью нейронных сетей / А.В. Власов, А.Р. Власова, А.В. Кайченков [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2011» [Электронный ресурс]. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (30,1Мб)- Мурманск: МГТУ, 2011. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321100504 от 13.12.11 г.

122. Практическая реализация программно-аппаратного комплекса для экспериментального исследования температурного поля в стерилизационной камере автоклава / А.В. Кайченков, А.В. Власов, А.А. Маслов // Современные технологии в машиностроении: сборник статей XI Международной научно-практической конференции. Пенза, 2007.

123. Программно-аппаратный комплекс для экспериментального исследования температурного поля в стерилизационной камере автоклава / А.В. Кайченков, А.В. Власов, А.А. Маслов // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов VI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Томск, 2008.

124. Разработка автоматической системы управления малогабаритным фрикционным дымогенератором / А.В. Власов, А.Р. Власова, А.В. Кайченков [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2012» [Электронный ресурс]. Мурманск, 2 - 6 апреля 2012 г. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (28,6Мб)- Мурманск: МГТУ, 2012. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321201101 от 20.12.12 г.

125. Разработка автоматической системы управления микроклиматом на базе микропроцессорного регулятора «ОВЕН» / А.В. Кайченков, А.А. Маслов // Сборник тезисов студенческой научно-технической конференции - 2006. Т.1. – Мурманск: МГТУ, 2006.

126. Разработка автоматической системы управления универсальной коптильно-сушильной установкой / А.В. Кайченков, В.А. Аминов, А.А. Маслов // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2010» [Электронный ресурс]. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (139 Мб)- Мурманск: МГТУ, 2010. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321000362 от 12.08.10 г.

127. Разработка и внедрение в учебный процесс и производство лабораторных экспериментальных установок на базе оборудования «ОВЕН» / А.В. Кайченков, А.Ю. Висков, А.А. Маслов // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2009» [Электронный ресурс]. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (181 Мб)- Мурманск: МГТУ, 2009. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0320900170 от 25.05.09 г.

128. Разработка и внедрение в учебный процесс лабораторных установок на базе оборудования «ОВЕН» / А.В. Кайченков, А.Ю. Висков, А.А. Маслов // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2008» [Электронный ресурс]. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (20 Мб)- Мурманск: МГТУ, 2008. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст

подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0320800238 от 21.01.08 г.

129. Разработка малогабаритной установки для получения коптильного препарата / А.В. Власов, А.Р. Власова, А.В. Кайченев [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2011» [Электронный ресурс]. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (30,1Мб)- Мурманск: МГТУ, 2011. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321100504 от 13.12.11 г.

130. Разработка методики построения переходной характеристики объекта по АФЧХ / А.В. Власов, А.Р. Власова, А.В. Кайченев [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2014» [Электронный ресурс]. Мурманск, 24 - 28 марта 2014 г. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (20,4 Мб)- Мурманск: МГТУ, 2014. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321401155 от 15.10.14 г.

131. Разработка модели стерилизационной камеры АВК-30М по методу "черного ящика" / А.В. Власов, А.Р. Власова, А.В. Кайченев [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2013» [Электронный ресурс]. Мурманск, 4 - 11 марта 2013 г. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (31,5 Мб)- Мурманск: МГТУ, 2013. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321301202 от 04.03.14 г.

132. Разработка модернизированного способа стерилизации консервов из гидробионтов / А.В. Власов, А.Р. Власова, А.В. Кайченев [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2012» [Электронный ресурс]. Мурманск, 2 - 6 апреля 2012 г. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (28,6Мб)- Мурманск: МГТУ, 2012. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321201101 от 20.12.12 г.

133. Разработка программного обеспечения расчета фактического летального эффекта процессов тепловой обработки консервов / А. А. Жук, А. В. Столянов, А. В. Кайченев, Л. К. Куранова // Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса : Сборник научных трудов XXIV Международной научно-практической конференции. В рамках Агропромышленного форума юга России: выставок «Интерагромаш», «Агротехнологии», Ростов-на-Дону, 24–26 февраля 2021 года. – Ростов-на-Дону: Общество с ограниченной ответственностью "ДГТУ-ПРИНТ", 2021. – С. 215-219. – DOI 10.23947/interagro.2021.215-219. – EDN QRKRNN.

134. Разработка программы "Построение графиков по данным в формате .ods и моделирование объекта" / А.В. Власов, А.Р. Власова, А.В. Кайченев // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2013» [Электронный ресурс]. Мурманск, 4 - 11 марта 2013 г. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (31,5 Мб)- Мурманск: МГТУ, 2013. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321301202 от 04.03.14 г.

135. Разработка программы управления сушильной установкой для создания линейно изменяющихся режимов релаксации сырья / И.Ю. Селяков, А.В. Власов, А.В. Кайченев [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2014» [Электронный ресурс]. Мурманск, 24 - 28 марта 2014 г. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (20,4 Мб)- Мурманск: МГТУ, 2014. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321401155 от 15.10.14 г.

136. Разработка систем автоматического управления на базе технических и программных средств автоматизации «ОВЕН» и их внедрение в учебный процесс и производство / А.В. Кайченев, А.Ю. Висков, А.А. Маслов [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2011» [Электронный ресурс]. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (30,1Мб)- Мурманск: МГТУ, 2011. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон.

текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321100504 от 13.12.11 г.

137. Разработка системы автоматического взвешивания на базе сигма-дельта АЦП НХ711 и микроконтроллера PIC16F876A / В. В. Ерещенко, И. Ю. Селяков, А. А. Маслов [и др.] // Развитие науки и образования в современном мире : Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 7 частях, Москва, 30 сентября 2014 года / ООО "АР-Консалт". – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "АР-Консалт", 2014. – С. 107-112. – EDN SWQHFL.

138. Разработка системы автоматического управления малогабаритной установкой для поиска оптимальных технологических режимов» / А.В. Власов, А.Р. Власова, А.В. Кайченков [и др.] // Наука, образование, инновации: пути развития : материалы Четвертой всероссийской научно-практической конференции (23–25 апреля 2013 г.) / отв. за вып. Я.В. Ганич. – Ч. I. – Петропавловск-Камчатский : КамчатГТУ, 2013.

139. Разработка системы автоматического управления процессом сушки рыбной продукции / А.В. Власов, А.Р. Власова, А.В. Кайченков [и др.] // Материалы восьмой международной научно-технической конференции. Вологда: ВоГТУ, 2013.

140. Разработка стерилизационной установки АВК-30М / А.В. Власов, А.Р. Власова, А.В. Кайченков [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2012» [Электронный ресурс]. Мурманск, 2 - 6 апреля 2012 г. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (28,6Мб)- Мурманск: МГТУ, 2012. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321201101 от 20.12.12 г.

141. Реализация программы автоматического подбора параметров режима стерилизации консервной продукции / А.В. Власов, А.Р. Власова, А.В. Кайченков [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2014» [Электронный ресурс]. Мурманск, 24 - 28 марта 2014 г. /

МГТУ.- Электрон. текст.дан. (20,4 Мб)- Мурманск: МГТУ, 2014. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321401155 от 15.10.14 г.

142. Системы автоматического удаленного контроля технологическими процессами на базе средств автоматизации "ОВЕН" / А. В. Кайченoв, А. А. Маслов, В. В. Яценко [и др.] // Наука и образование - 2019 : Материалы всероссийской научно-практической конференции, Мурманск, 15 ноября 2019 года. – Мурманск: Мурманский государственный технический университет, 2020. – С. 19-22. – EDN IMEQNF.

143. Совершенствование методики изучения температурного поля греющей среды аппаратов периодического действия для стерилизации консервов» / А.В. Кайченoв, А.В. Власов, А.А. Маслов // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2009» [Электронный ресурс]. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (181 Мб)- Мурманск: МГТУ, 2009. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0320900170 от 25.05.09 г.

144. Современные системы управления коптильными и сушильными печами» / И.Ю. Селяков, А.В. Власов, А.В. Кайченoв [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2014» [Электронный ресурс]. Мурманск, 24 - 28 марта 2014 г. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (20,4 Мб)- Мурманск: МГТУ, 2014. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321401155 от 15.10.14 г.

145. Современные технические и программные средства "ОВЕН" в дипломном проектировании и научной работе кафедры автоматики и вычислительной техники / А. В. Кайченoв, А. В. Власов, А. А. Маслов, А. Ю. Висков // Наука - производству : Материалы международной научно-практической конференции, Мурманск, 24–27 марта 2015 года / Мурманский

государственный технический университет. – Мурманск: Мурманский государственный технический университет, 2015. – С. 27-31. – EDN VFYHGL.

146. Сопоставление модернизированного и ступенчатого способов стерилизации консервов / А.В. Власов, А.Р. Власова, А.В. Кайченев [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2013» [Электронный ресурс]. Мурманск, 4 - 11 марта 2013 г. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (31,5 Мб)- Мурманск: МГТУ, 2013. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321301202 от 04.03.14 г.

147. Столянов, А. В. Комплекс программных средств для оптимизации этапа предварительного подбора режимов стерилизации консервов из гидробионтов / А. В. Столянов, А. В. Кайченев, А. В. Власов // Наука - производству : Материалы международной научно-практической конференции, Мурманск, 18–20 апреля 2018 года. – Мурманск: Мурманский государственный технический университет, 2018. – С. 86-89. – EDN VKNYRO.

148. Столянов, А. В. Разработка программного обеспечения для оптимизации этапа предварительного подбора режимов стерилизации консервов из гидробионтов / А. В. Столянов, А. В. Кайченев // Наука - производству : Материалы международной научно-практической конференции, Мурманск, 14–19 апреля 2017 года / Мурманский государственный технический университет. – Мурманск: Мурманский государственный технический университет, 2017. – С. 77-81. – EDN YOLFET.

149. Столянов, А. В. Совершенствование этапа предварительного подбора режимов стерилизации консервов из гидробионтов с использованием программного обеспечения / А. В. Столянов, А. В. Кайченев, Л. К. Куранова // Наука - производству : Материалы международной научно-практической конференции, Мурманск, 22–25 марта 2016 года / Мурманский государственный технический университет. – Мурманск: Мурманский государственный технический университет, 2016. – С. 93-98. – EDN WKRZYB.

150. Технические и программные средства "ОВЕН" в научной работе кафедры автоматики и вычислительной техники / А.В. Кайченков, А.А. Маслов, А.А. Жук [и др.] // Наука и образование: материалы всероссийской научно-практической конференции, Мурманск, 1 ноября 2016 г. / Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Мурманский государственный технический университет". – Мурманск : Изд-во МГТУ, 2016.

151. Технические и программные средства автоматизации «ОВЕН» в дипломном проектировании и научных исследованиях кафедры автоматики и вычислительной техники / А.В. Кайченков, А.В. Власов, А.Ю. Висков [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2014» [Электронный ресурс]. Мурманск, 24 - 28 марта 2014 г. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (20,4 Мб)- Мурманск: МГТУ, 2014. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321401155 от 15.10.14 г.

152. Усовершенствование стерилизационной установки АВК-30 / А.В. Кайченков, А.В. Власов, А.А. Маслов [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2011» [Электронный ресурс]. / МГТУ.- Электрон. текст.дан. (30,1Мб)- Мурманск: МГТУ, 2011. - 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM). Электрон. текст подгот. ФГОУВПО «МГТУ». – Гос. рег. НТЦ «Информрегистр» № 0321100504 от 13.12.11 г.

СПИСОК ИЛЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА

Рисунок 1.1 – Регулирование температуры при традиционном подходе к процессу стерилизации консервов

Рисунок 1.2 – Традиционный режим тепловой обработки консервов в водной среде.

Рисунок 1.3 – Профиль переменного режима тепловой обработки [2].

Рисунок 1.4 – Внешний вид программы Thermal processing modeller

Рисунок 1.5 – Вид стартовой формы приложения PRSC

Рисунок 1.6 – Внешний вид окон настройки моделей автоклава и продукта

Рисунок 1.7 – Вкладка создания теплофизического файла *.doc

Рисунок 1.8 – Графики температуры при процессе стерилизации, оптимальном по содержанию тиамин

Рисунок 1.9 – Графики температуры при процессе стерилизации, оптимальном по времени

Рисунок 1.10 – Графики температуры при процессе стерилизации, оптимального по содержанию тиамин

Рисунок 1.11 – Графики температуры при процессе стерилизации, оптимального по времени стерилизации консервов

Рисунок 1.12 – Графики температуры при процессе стерилизации, оптимизированного в программном продукте "OPT-PROx"

Таблица 1.1 – Результаты оптимизации параметров исходных режимов

Рисунок 2.1 – Программно-целевая модель исследования

Таблица 2.1 – Реестр РМ

Таблица 2.2 – Реестр РЦ

Таблица 2.3 – Реестр ТМ

Таблица 2.4 – Реестр ТО для ТМ «Подготовка сырья»

Таблица 2.5 – Реестр ТО для ТМ «Подготовка к стерилизации сырья»

Таблица 2.6 – Реестр ТО для ТМ «Подготовка к стерилизации банок»

Таблица 2.7 – Реестр ТО для ТМ «Закатка»

Таблица 2.8 – Реестр ТО для ТМ «Стерилизация»

Таблица 2.9 – Реестр ТО для ТМ «Мойка и сушка банок»

Таблица 2.10 – Реестр ТО для ТМ «Маркировка»

Таблица 2.11 – Реестр ТО для ТМ «Подготовка к хранению»

Рисунок 2.2 – Взаимосвязи ТО для всех ТМ производства консервов из печени трески

Рисунок 2.3 – Стерилизационная установка АВК-30М [76, 91]

Рисунок 2.4 – Стерилизационная установка ASCAMAT-230 [76, 91]

Таблица 2.12 – Основные характеристики логгеров температур [ссылка]

Рисунок 2.5 – Внешний вид термографа Thermochron iButton DS1922Т и логгера комплекса Ellab TrackSense PRO (Дания) [Ссылка].

Рисунок 2.6 – Внешний вид УКСУ с дымогенератором

Рисунок 2.7 – Модуль УКСУ:

Таблица 2.13 – Мощность исполнительных механизмов УКСУ

Рисунок 2.8 – Контур управления температурой в УКСУ

Рисунок 2.9 – Контур управления влажностью в модуле УКСУ

Рисунок 2.10 – Малогабаритная установка для поиска оптимальных режимов

Рисунок 2.11 – Управление и предсказанное поведение объекта.

Рисунок 2.12 – Схема управления с прогнозом

Рисунок 2.13 – Прогноз управления объектом.

Рисунок 2.14 – Обучение нейронной сети [Нейросеть]

Рисунок 2.15 – Структура модели объекта управления нейронной сети [Нейросеть]

Рисунок 2.16 – Схема управления с прогнозом с нейросетевым регулятором.

Рисунок 2.17 – 3D-модель автоклава Н2-ИТА-602

Рисунок 2.18 – Размещение логгеров температуры внутри стерилизационной камеры автоклава

Рисунок 2.19 – Схема системы автоматического регулирования по фактическому стерилизующему эффекту (* – рассчитанные значения)

Рисунок 2.20 – Функциональная схема системы управления процессом стерилизации консервов с прогнозированием F-эффекта

Рисунок 2.21 – Функциональная схема системы управления процессом стерилизации консервов по модернизированному способу

Рисунок 2.22 – Графики температур, F-эффекта и энергозатрат при проведении стерилизации по модернизированному способу

Рисунок 2.23 – Графики температур, F-эффекта и энергозатрат при проведении стерилизации с прогнозированием F-эффекта

Рисунок 3.1 – Графики изменения температуры в процессе стерилизации №1.

Рисунок 3.2 – График абсолютной погрешности значений логгера ThermoChron DS1922T в процессе стерилизации №1.

Рисунок 3.3 – Графики изменения температуры в процессе стерилизации №2.

Рисунок 3.4 – График абсолютной погрешности значений логгера ThermoChron DS1922T в процессе стерилизации №2.

Рисунок 3.5 – Графики изменения температуры для процесса пастеризации №1.

Рисунок 3.6 – Графики изменения температуры в процессе пастеризации №2.

Рисунок 3.7 – Графики изменения температуры в процессе пастеризации №3.

Рисунок 3.8 – Графики абсолютных погрешностей значений логгеров ThermoChron DS1922T для процессов пастеризации.

Таблица 3.1 – Погрешности значений температур термографов ThermoChron.

Рисунок 3.9 – Температурно-временные характеристики всего процесса стерилизации

Рисунок 3.10 – Температурно-временные характеристики этапа нагрева

Рисунок 3.11 Температурно-временные характеристики этапа охлаждения

Рисунок 3.12 – Временные зависимости температуры внутри банок с продуктом

Рисунок 3.13 – Временные зависимости F-эффекта для банок с продуктом

Рисунок 3.14 – Результаты исследования по определению равномерности температурного поля при стерилизации в воде в автоклаве АВК-30М

Таблица 3.2 – Результаты экспериментов по определению формулы стерилизации и расчету F-эффекта консервов «Печень трески натуральная» в банке Impress .

Рисунок 3.15 – Графики температуры процесса стерилизации F-эффекта в банке Impress консервов «Печень трески натуральная» для автоклава АВК-30М.

Рисунок 3.16 – Графики температуры при эксперименте и численном моделировании для автоклава Ascamat-230

Рисунок 3.17 – Графики температуры при эксперименте и численном моделировании для автоклава АВК-30М

Рисунок 3.18 – Структурная схема контура регулирования температуры в АВК-30М на этапе нагрева

Рисунок 3.19 – Структурная схема контура регулирования температуры в АВК-30М на этапе собственно стерилизации.

Рисунок 3.20 – Интерфейс программного обеспечения Reg_Sost с результатами оптимальной настройки контура регулирования температуры по интегральной оценке J_5 .

Рисунок 3.21 – Графики численного моделирования и экспериментов температуры и F-эффекта традиционного способа стерилизации.

Рисунок 3.22 – Структурная схема контура регулирования F-эффекта в АВК-30М при модернизированном способе стерилизации.

Рисунок 3.23 – Технологический режим при модернизированном способе стерилизации.

Таблица 3.3 – Результаты оптимизации формулы стерилизации для консервов «Печень трески натуральная» в банке Impress для автоклава АВК-30М

Рисунок 3.24 – Графики численного моделирования температуры и F-эффекта при применении модернизированного способа стерилизации консервов

Рисунок 3.25 – Сопоставление результатов исследований способов управления стерилизации консервов

Таблица 3.4 – Сопоставление способов стерилизации консервов по продолжительности процесса и потребляемой энергии.

Таблица 3.5 – Основные параметры традиционных режимов стерилизации

Таблица 3.6 – Основные параметры модернизированных режимов стерилизации

Рисунок 3.26 – Внешний вид программы PRSC

Рисунок 3.27 – Внешний вид окна программы PRSC "Настройки моделей"

Рисунок 3.28 – Внешний вид окна "Графики процесса".

Рисунок 4.1 – Функциональная схема системы автоматического управления

Рисунок 4.2 – 3D-модель автоклава ИТА-602

Таблица 4.1 – Аналоговый ввод (AI)

Таблица 4.2 – Дискретный вывод

Таблица 4.3 – Дискретный ввод

Рисунок 4.3 – Программа в среде Owen Logic для ПП200

Рисунок 4.4 – Форма оператора «Уровень доступа»

Рисунок 4.5 – Форма оператора «Неверный пароль»

Рисунок 4.6 – Форма оператора «Выбор типа стерилизации»

Рисунок 4.7 – Форма оператора «Подготовка к процессу стерилизации в паровой среде»

Рисунок 4.8 – Форма оператора «Процесс стерилизации в паровой среде»

Рисунок 4.9 – Форма оператора «Остановка процесса»

Рисунок 4.10 – Форма оператора «Стерилизация окончена»

Рисунок 4.11 – Варианты реализации удаленного контроля процесса стерилизации

Рисунок 4.12 – Экран оператора в ПО KaScada

Рисунок 4.13 – Модуль МИСт.Оптимум

Рисунок 4.14 – Основное окно программы Ellab ValSuite

Рисунок 4.15 – Экраны программы «Преобразование архивных данных трендов 3S CoDeSys в структурированный численный вид»

Рисунок 4.16 – Экраны программы "Построение графиков по данным в формате .ods и моделирование объекта"

Рисунок 4.17 – Модуль МИСт.Экономайзер

Рисунок 4.18 – Коэффициенты передаточных функций для модели продукта

Рисунок 4.19 – Результаты моделирования в табличном виде

Рисунок 4.20 – Режим стерилизации для получения нормативного стерилизующего эффекта

Рисунок 4.21 – Документ с теплофизическими данными для утверждения режима

Рисунок 4.22 – Основное окно программы «Modeller»

Рисунок 4.23 – Вид приложения PRSC с коэффициентами передаточных функций для модели продукта

Рисунок 4.24 – Вид приложения PRSC с таблицей температур и расчета летальности

Рисунок 4.25 – Ступенчатый режим для достижения нормативного стерилизующего эффекта

Таблица 4.4 – Результаты подобранных предварительных процессов стерилизации консервов

Рисунок 4.26 – Подбор математической модели продукта в программе TRM.

Таблица 4.5 – Коэффициенты модели продукта и оптимальный ТРТО.

Рисунок 4.27 – ТРТО подобранный в программе PRSC.

Таблица 4.6 – Математическое описание ВРТО.

Таблица 4.7 – Полученные значения для ТРТО и ВРТО.

Рисунок 4.28 – ВРТО, моделируемый на основе математического описания.

Рисунок 4.29 – Графический интерфейс программы «Расчет летальности процесса тепловой обработки консервов

Рисунок 4.30 – Форма отображения графиков.

Таблица 4.8 – Фактическая летальность пастеризации консервов «Форель в оливковом масле с добавлением маринованного ананаса» в зависимости от параметров процесса

Рисунок 4.31 – Температурная динамика эффективного режима пастеризации консервов «Форель в оливковом масле с добавлением маринованного ананаса».

Рисунок 4.32 – Динамика F-эффекта эффективного режима пастеризации консервов «Форель в оливковом масле с добавлением маринованного ананаса».

Рисунок 4.33 – График изменения температуры в автоклаве АСКАМАТ 230

Рисунок 4.34 – График этапа нагрева АСКАМАТ 230 и АВК-30М

Рисунок 4.35 – Температура внутри автоклавов на этапе охлаждения

Рисунок 4.36 – Этап охлаждения автоклавов АСКАМАТ 230 и АВК-30М

Таблица 4.9 – Энергозатраты на этапах нагрева и стерилизации

Рисунок 4.37 – Основное окно приложения «Модель автоклава»

Рисунок 4.38 – Пример моделирования процесса стерилизации консервов в воде в программе «Модель автоклава»

Рисунок 4.39 – Графики температуры в автоклаве при заливе воды и прогреве

Рисунок 4.40 – Графики температуры в автоклаве при нагреве

Рисунок 4.41 – Графики температуры в автоклаве при стерилизации и охлаждении

Рисунок 4.42. Основное окно моделирующего приложения

Рисунок 5.1 – Схема входных и выходных воздействий процесса копчения пищевых продуктов

Рисунок 5.2 – Схема функциональная системы автоматического управления

Рисунок 5.3 – Схема функциональная схема автоматизации системы автоматического управления

Рисунок 5.4 – Функциональная схема автоматической системы управления УКСУ

Рисунок 5.5 – Модель системы управления на основе ПИД-регуляторов

Таблица 5.1 – Коэффициенты дифференциальных уравнений температурной динамики нагрева коптильной камеры при экспериментах

Таблица 5.2 – Коэффициенты дифференциальных уравнений динамики роста влажности дымовоздушной смеси

Таблица 5.3 – Коэффициенты дифференциальных уравнений температурной динамики падения влажности дымовоздушной смеси

Рисунок 5.6 – Структурная схема при моделировании процесса копчения пищевых продуктов

Рисунок 5.7 – Переходный процесс температуры при моделировании процесса копчения пищевых продуктов

Таблица 5.4 – Результаты оценки эффективности ПИД-регулятора контура температуры

Таблица 5.5 – Результаты оценки эффективности ПИД-регулятора контура влажности

Рисунок 5.8 – Иерархическая структура системы автоматического управления процесса копчения пищевых продуктов

Рисунок 5.9 – 7 контуров управления в САУ УКСУ

Рисунок 5.10 – Контур управления температурой УКСУ

Рисунок 5.11 – Контур управления влажностью УКСУ

Рисунок 5.12 – Контур управления влажностью по датчикам влажности УКСУ

Рисунок 5.13 – Контур управления температурой по трем датчикам температуры УКСУ

Рисунок 5.14 – Контур управления температурой по датчику температуры ДГ УКСУ

Рисунок 5.15 – Графики температур в секциях УКСУ

Рисунок 5.16 – Графики сигналов управления нагревателями УКСУ

Рисунок 5.17 – Временная диаграмма количества потребляемой энергии при обезвоживании сырья без режимов релаксации

Рисунок 5.18 – Временная диаграмма количества потребляемой, при обезвоживании сырья, с режимами релаксации.

Рисунок 5.19 – Малогабаритная установка для поиска оптимальных режимов релаксации

Рисунок 5.20 – Структурная схема модернизированной автоматизированной системы управления сушильной установкой

Рисунок 5.21 – Главное окно

Рисунок 5.22 – Окно настроек параметров сушки для трех участкового метода

Рисунок 5.23 – Окно настроек параметров сушки для n участкового метода

Рисунок 5.24 – Окно контроля параметров секции 1

Рисунок 5.25 – Окно отображения графиков процесса секции 1

Рисунок 5.26 – Структура модели УПОР-М

Рисунок 5.27 – Математическая модель камеры УПОР-М

Рисунок 5.28 – Графики переходных процессов при идентификации параметров математической модели установки УПОР-М

Рисунок 5.29 – Математическая модель камеры УПОР-М

Таблица 6.1 – Экспертная система оценка качества консервов

Таблица 6.2 – Формализация лингвистических переменных

Рисунок 6.1 – Нечеткая экспертная подсистема оценки качества консервов

Рисунок 6.2 – Нечеткая экспертная система оценки качества консервов

Рисунок 6.3 – Структурная схема при моделировании контура регулирования температуры с ПИД-регулятором процесса копчения пищевых продуктов.

Рисунок 6.4 – Графики переходных процессов при моделировании контура регулирования температуры с ПИД-регулятором

Рисунок 6.5 – Структурная схема при моделировании контура регулирования температуры с МРС-регулятором процесса копчения пищевых продуктов.

Рисунок 6.6 – Графики переходных процессов при моделировании контура регулирования температуры с МРС-регулятором

Рисунок 6.7 – Нейронная сеть для процесса копчения

Рисунок 6.8 – Модель контура температуры для обучения нейронной сети

Рисунок 6.9 – Структурная схема при моделировании контура регулирования температуры с нейросетевым регулятором процесса копчения пищевых продуктов

Рисунок 6.10 – Графики переходных процессов при моделировании контура регулирования температуры с нейросетевым регулятором

Рисунок 6.11 – Модель контура температуры для обучения нейронной сети

Рисунок 6.12 – Структурная схема при моделировании контура регулирования температуры с нейросетевым регулятором процесса обезвоживания пищевых продуктов.

Рисунок 6.13 – Графики переходных процессов при моделировании контура регулирования температуры с нейросетевым регулятором

Рисунок 6.14 – Структурная схема при моделировании контура регулирования температуры с МРС-регулятором процесса обезвоживания пищевых продуктов.

Рисунок 6.15 – Графики переходных процессов при моделировании контура регулирования температуры с МРС-регулятором

Таблица 6.3 – Система нечеткого логического вывода коррекции коэффициентов ПИД-регулятора

Таблица 6.4 – Правила логического вывода

Таблица 6.5 – Формализация лингвистических переменных

Рисунок 6.16 – Нечеткая система коррекции коэффициентов ПИД-регулятора

Рисунок 6.17 – Структурная схема при моделировании контура регулирования температуры с нечеткой системой коррекции коэффициентов ПИД-регулятора

Рисунок 6.18 – Графики переходных процессов при моделировании контура регулирования температуры с нечеткой системой коррекции коэффициентов ПИД-регулятора

Приложения

Приложение 1 – Акт о внедрении малогабаритной установки для поиска оптимальных технологических режимов сушки в производство

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
 ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
 «МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
 (ФГБОУ ВПО «МГТУ»)

УТВЕРЖДАЮ:
 Директор ООО «Интро»
 183010 г. Мурманск
 ул. Спортивная, 13

 А.Ю. Ильин
 «16» Уроне 2014 г.


АКТ

о внедрении результатов ГБ НИР

№ ГР 01 900025623 «Разработка малоотходных технологических процессов получения солено-сушеных и копченых изделий из водного сырья» в производство

1. *Наименование предложения для внедрения:* малогабаритная установка для поиска оптимальных технологических режимов сушки (УПОР-М).

2. *Кем предложена разработка:* в рамках ГБ НИР № ГР 01 900025623 «Разработка малоотходных технологических процессов получения солено-сушеных и копченых изделий из водного сырья», руководитель д-р техн. наук, профессор Ершов А.М.; исполнители: Ершов М.А., ст. научн. сотр. кафедры технологий пищевых производств; Похольченко В.А., ст. научн. сотр. кафедры технологического и холодильного оборудования; Кайченев А.В., ст. научн. сотр. кафедры автоматике и вычислительной техники; Селяков И.Ю., аспирант кафедры автоматике и вычислительной техники; Аминов В.А., аспирант кафедры автоматике и вычислительной техники.

3. *Краткая аннотация разработки.* Малогабаритная установка для поиска оптимальных технологических режимов состоит из четырех теплоизолированных независимых камер, выполненных из металла. В каждой камере располагается нагревательный элемент мощностью 1 кВт, необходимый для подогрева сушильного агента в камере. Температурный режим работы установки составляет от 18 до 35 °С. Скорость сушильного агента в камерах - до 2 м/с. Сверху камеры располагается вентилятор, подключенный к рециркуляционному воздухопроводу. Данный воздухопровод необходим для повторного использования большей части уже нагретого сушильного агента. На рециркуляционном воздуховоде располагается заслонка для подачи свежего воздуха. Сушильный агент с избыточной влажностью удаляется при помощи вытяжного вентилятора. Каждая камера снабжена датчиком температуры и датчиком влажности, которые расположены в правом дальнем углу камер и необходимы для контроля и управления температурой и влажностью внутри камер. Изменение температуры осуществляется при помощи нагревательного элемента, а изменение влажности - при помощи вытяжного вентилятора. Во время работы установки учитываются затраты электроэнергии в каждой секции с помощью счетчиков электроэнергии. Установка оснащена дисплеем с клавишами управления. С помощью клавиш управления задаются режимы процесса: время работы, время релаксации (выдержка объекта обезвоживания без воздействия теплоносителя), температура, скорость потока сушильного агента. На дисплее отображаются текущие режимы работы, значения влажности и температуры сушильного агента в каждой секции. В автоматическом режиме осуществляется запись в архив продолжительности процесса, значений температуры, влажности в камере, скорости потока сушильного агента, энергопотребления установки.

Внедряемая установка предназначена для разработки ресурсо-энергосберегающих режимов обезвоживания при производстве вяленой, солено-сушеной и копченой рыбы. Наблюдается экономический эффект при поочередном использовании режимов сушки и релаксации. Предварительные эксперименты показывают, что режимы обезвоживания с применением релаксации позволяют сократить затраты электрической энергии на 10 – 14 %. Применение данных режимов позволяет модифицировать процесс сушки. Во время релаксации происходит частичное восстановление диффузионных свойств обрабатываемого сырья. Разрабатываемый способ обезвоживания позволит существенно сократить затраты электрической энергии, повысить ресурс коптильно-сушильных установок за счет более рационального использования теплоносителя. Разрабатываемая технология не требует существенных технических изменений в традиционном технологическом процессе. Поэтому представляется возможным ее внедрение на предприятиях рыбоперерабатывающей отрасли, специализирующихся на выпуске вяленой и копченой продукции.

Получен патент на полезную модель (Пат. 136962 Российская Федерация, МПК А 23 В 4/03. Малогабаритная установка для поиска оптимальных технологических режимов сушки сырья / Селяков И.Ю., Кайченев А.В., Маслов А.А., Ершов М.А., Аминов В.А. ; заявитель и патентообладатель ФГБОУВПО «Мурм.гос.техн.ун-т». - № 2013121893/13 ; заявл. 13.05.2013 ; опубл. 27.01.2014, Бюл. № 3.).

4. Где и когда внедрено: ООО «Интро» (юр. адрес 183010 г. Мурманск, ул. Спортивная 13) с целью разработки рациональных режимов обезвоживания при производстве вяленой, копченой и солено-сушеной рыбы.

Протокол заседания кафедры технологий пищевых производств от 30 мая 2014 г. № 10.

Заведующий кафедрой
технологий пищевых производств

В.А. Гроховский

Декан факультета пищевых технологий
и биологии

Л.А. Петрова



Приложение 2 – Акт о внедрении стерилизационной установки АВК-30М в УЭЦ МГТУ.

Утверждаю

Проректор по научной работе МГТУ
доктор химических наук, профессор



Держач С.Р.

2011г.

Акт

о внедрении стерилизационной установки АВК-30М в учебно-экспериментальный цех (УЭЦ) МГТУ

Мы нижеподписавшиеся:

- Гроховский В.А. Зав.кафедрой «Технологии пищевых производств» МГТУ, канд.техн.наук, профессор, начальник УЭЦ МГТУ;
- Маслов А.А. Зав.кафедрой «Автоматики и вычислительной» МГТУ, канд.техн.наук, профессор;
- Власов А.В. Старший научный сотрудник кафедры АиВТ МГТУ, канд.техн.наук;
- Кайченев А.В. Научный сотрудник кафедры АиВТ
- составили настоящий акт в том, что в период с 20.06.11 г. по 01.07.11 г. осуществлена передача стерилизационной установки АВК-30М в УЭЦ МГТУ для опытно-промышленной эксплуатации.

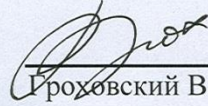
Примечание.

Стерилизацию консервов необходимо проводить согласно утвержденной технологической инструкции по стерилизации в воде консервов в автоклаве «АВК-30М», в условиях учебно-экспериментального цеха и лаборатории «Современные технологии производства продуктов из гидробионтов» кафедры «Технологии пищевых производств» МГТУ.

Акт подписали:

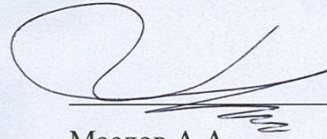
Председатель комиссии:

Зав.кафедрой «Технологии
пищевых производств» МГТУ,
канд.техн.наук, профессор



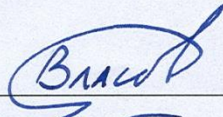
Гроховский В.А.

Зав.кафедрой «Автоматики и
вычислительной техники» МГТУ,
канд.техн.наук, профессор




Маслов А.А.

Старший научный сотрудник
НИГ кафедры «Автоматики и
вычислительной техники» МГТУ,
канд.техн.наук



Власов А.В.

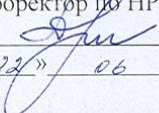
Научный сотрудник НИГ
кафедры «Автоматики и
вычислительной техники» МГТУ



Кайченев А.В.

Приложение 3 – Акты о внедрении диссертационных исследований в учебный процесс

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВПО «МГТУ»)

СОГЛАСОВАНО:
Проректор по НР
 С.Р. Деркач
« 22 » 06 2011г.

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по УР
 С.Г. Серов
« 24 » 06 2011г.



АКТ
о внедрении результатов диссертационных исследований в учебный процесс
(вид деятельности)

1. Наименование предложения для внедрения (учебно-методические, научно-методические разработки и т.п.) научно-методическая разработка в виде алгоритмов управления и учебно-лабораторного стенда-имитатора стерилизационной установки

2. Кем предложена разработка Кайченев А.В., научный сотрудник кафедры ЛиВТ

(Ф.И.О., должность, кафедра)

3. Краткая аннотация разработки студентам предлагаются алгоритмы управления модернизированным способом для реализации их на языках стандарта МЭК 61131-3, а также учебно-лабораторный стенд-имитатор стерилизационной установки. Использование разработки позволяет повысить уровень подготовки специалистов по специальности 220301.65 «Автоматизация технологических процессов и производств» и бакалавров по специальности 220700.62 «Автоматизация технологических процессов и производств»
(характеристика результата, сделанный вывод)

4. Где и когда внедрено: Июнь 2011г.

«Изучение принципов программирования на языках SFC, ST, FBD в среде CoDeSys на примере САУ процесса стерилизации», курс «Интегрированные системы проектирования и управления»
(тема занятия, курс)

5. Учебно-методическая (научно-методическая) эффективность внедрения повышение уровня профессиональной и научной подготовки студентов

6. Замечания, предложения _____

Протокол заседания кафедры А и ВТ от 20.06.2011г. №8

Заведующий кафедрой  (Маслов А.А.)

Декан факультета  (Саватеев Д.А.)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
 ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
 «МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
 (ФГБОУ ВПО «МГТУ»)

СОГЛАСОВАНО:

Проректор по НР

С.П. Деркач
 « 20 » 06 2011г.

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по УР

С.Ю. Дубровин
 « 20 » 06 2011г.



АКТ

о внедрении результатов диссертационных исследований в учебный процесс
 (вид деятельности)

1. Наименование предложения для внедрения (учебно-методические, научно-методические разработки и т.п.) научно-методическая разработка в виде стерилизационной установки АВК-30М и технологической инструкции для проведения процесса стерилизации модернизированным способом

2. Кем предложена разработка Кайченев А.В., научный сотрудник кафедры АиВТ
 (Ф.И.О., должность, кафедра)

3. Краткая аннотация разработки студентам предлагается выполнить лабораторные работы по стерилизации консервной продукции модернизированным способом на стерилизационной установке АВК-30М в соответствии с утвержденной технологической инструкцией. Использование разработки позволяет повысить уровень подготовки специалистов по специальности 220301.65 «Автоматизация технологических процессов и производств», 260302.65 «Технология рыбы и рыбных продуктов», 260602.65 «Пищевая инженерия малых предприятий» и бакалавров по специальности 260200.62 «Продукты питания животного происхождения».
 (характеристика результата, сделанный вывод)

4. Где и когда внедрено: Июнь 2011г.

Тема занятия: «Проведение процесса стерилизации консервов и расчет фактического стерилизующего эффекта» по курсу «Технология рыбы и рыбных продуктов», тема занятия: «Изучение технологии стерилизованных консервов из мяса и рыбы и их изготовление» по курсу «Технология пищевых производств»
 (тема занятия, курс)

5. Учебно-методическая (научно-методическая) эффективность внедрения повышение уровня профессиональной и научной подготовки студентов

6. Замечания, предложения _____

Протокол заседания кафедры ТПП от 15.06.2011г. №14

Заведующий кафедрой Гроховский В.А.

Декан факультета Петрова Л.А.

Приложение 4 – Акт о внедрении программы для ЭВМ «FILTER_FOR_TEMP для универсальной коптильно-сушильной установки»

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ООО «Интро»

183010, г.Мурманск,

ул. Спортивная д.13.

А.Ю. Ильин

2013г.



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

программы для ЭВМ «FILTER_FOR_TEMP для универсальной коптильно-сушильной установки»

В учебно-экспериментальном цехе МГТУ в блоке системы автоматического управления универсальной коптильно-сушильной установки (УКСУ) установлена и протестирована программа для ЭВМ « FILTER_FOR_TEMP для универсальной коптильно-сушильной установки». Программа разработана в рамках ГБ НИР № ГР01200900799 "Комплексная модернизация систем контроля и управления процессами стерилизации и копчения" МГТУ. Авторами программы являются канд. техн. наук, профессор кафедры автоматизации и вычислительной техники (АиВТ) Маслов А.А.; канд. техн. наук, ст. научн. сотр. кафедры АиВТ Кайченев А.В.; мл. научн. сотр. кафедры АиВТ Селяков И.Ю.; ведущий электроник кафедры АиВТ Аминов В.А.

Подпрограмма «FILTER_FOR_TEMP» вызывается из основного алгоритма работы универсальной коптильно-сушильной установки в ходе процесса копчения и вяления продукции. Алгоритм работы подпрограммы разработан на языке ST (Structured Text). Данная подпрограмма производит фильтрацию аналоговых сигналов с заданной глубиной фильтра и шагом квантования.

Универсальная коптильно - сушильная установка используется ООО «Интро» для производства вяленой, копченой рыбы и изготовления полуфабриката полукопченого копчения для производства консервов.

Начальник учебно-экспериментального цеха _____ Гроховский В.А.

Заведующий кафедрой АиВТ _____ Маслов А.А.

Старший научный сотрудник кафедры АиВТ _____ Кайченев А.В.

Младший научный сотрудник кафедры АиВТ _____ Селяков И.Ю.

Ведущий электроник кафедры АиВТ _____ Аминов В.А.

Приложение 5 – Акт о внедрении программы для ЭВМ «PID_TEMP для универсальной коптильно-сушильной установки»

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ООО «Интро»

183010, г.Мурманск,

ул. Спортивная д.13.

А.Ю. Ильин

сентябрь 2013г.



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

программы для ЭВМ «PID_TEMP

для универсальной коптильно-сушильной установки»

В учебно-экспериментальном цехе МГТУ в блоке системы автоматического управления универсальной коптильно-сушильной установки (УКСУ) установлена и протестирована программа для ЭВМ "PID_TEMP для универсальной коптильно-сушильной установки". Программа разработана в рамках ГБ НИР № ГР01200900799 "Комплексная модернизация систем контроля и управления процессами стерилизации и копчения" МГТУ. Авторами программы являются канд. техн. наук, профессор кафедры автоматизации и вычислительной техники (АиВТ) Маслов А.А.; канд. техн. наук, ст. научн. сотр. кафедры АиВТ Кайченов А.В.; мл. научн. сотр. кафедры АиВТ Селяков И.Ю.; ведущий электроник кафедры АиВТ Аминов В.А.

Подпрограмма «PID_TEMP» вызывается из основного алгоритма работы универсальной коптильно-сушильной установки в ходе процесса копчения и вяления продукции. Алгоритм работы подпрограммы разработан на языке SFC (Sequential Function Chart). Данная подпрограмма производит расчет сигналов управления на блоки управления симисторами (БУСТ) и на частотные преобразователи (ЧП).

Универсальная коптильно - сушильная установка используется ООО «Интро» для производства вяленой, копченой рыбы и изготовления полуфабриката полугорячего копчения для производства консервов.

Начальник учебно-экспериментального цеха _____ Гроховский В.А.

Заведующий кафедрой АиВТ _____ Маслов А.А.

Старший научный сотрудник кафедры АиВТ _____ Кайченов А.В.

Младший научный сотрудник кафедры АиВТ _____ Селяков И.Ю.

Ведущий электроник кафедры АиВТ _____ Аминов В.А.

Приложение 6 – Акт о внедрении программы для ЭВМ «FCHANGE для универсальной копильно-сушильной установки»

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ООО «Интро»

183010, г.Мурманск,

ул. Спортивная д.13.

А.Ю. Ильин

2013г.



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

программы для ЭВМ «PLC_PRG

для универсальной копильно-сушильной установки»

В учебно-экспериментальном цехе МГТУ в блоке системы автоматического управления универсальной копильно-сушильной установки (УКСУ) установлена и протестирована программа для ЭВМ «PLC_PRG для универсальной копильно-сушильной установки». Программа разработана в рамках ГБ НИР № ГР01200900799 "Комплексная модернизация систем контроля и управления процессами стерилизации и копчения" МГТУ. Авторами программы являются канд. техн. наук, профессор кафедры автоматики и вычислительной техники (АиВТ) Маслов А.А.; канд. техн. наук, ст. научн. сотр. кафедры АиВТ Кайченов А.В.; мл. научн. сотр. кафедры АиВТ Селяков И.Ю.; ведущий электроник кафедры АиВТ Аминов В.А.

Программа «PLC_PRG» является основным алгоритмом работы универсальной копильно-сушильной установки в ходе процесса копчения и вяления продукции. Алгоритм работы программы разработан на языке CFC (Continuous Function Chart). Данная программа производит основной расчет переменных и управляет всеми подпрограммами, входящих в ее состав.

Универсальная копильно - сушильная установка используется ООО «Интро» для производства вяленой, копченой рыбы и изготовления полуфабриката полугорячего копчения для производства консервов.

Начальник учебно-экспериментального цеха _____ Гроховский В.А.

Заведующий кафедрой АиВТ _____ Маслов А.А.

Старший научный сотрудник кафедры АиВТ _____ Кайченов А.В.

Младший научный сотрудник кафедры АиВТ _____ Селяков И.Ю.

Ведущий электроник кафедры АиВТ _____ Аминов В.А.

**Приложение 7 – Акт о внедрении программы для ЭВМ «PLC_PRG
для универсальной коптильно-сушильной установки»**

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ООО «Интро»

183010, г.Мурманск,

ул. Спортивная д.13.

А.Ю. Ильин

2013г.



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

программы для ЭВМ «PLC_PRG

для универсальной коптильно-сушильной установки»

В учебно-экспериментальном цехе МГТУ в блоке системы автоматического управления универсальной коптильно-сушильной установки (УКСУ) установлена и протестирована программа для ЭВМ "PLC_PRG для универсальной коптильно-сушильной установки". Программа разработана в рамках ГБ НИР № ГР01200900799 "Комплексная модернизация систем контроля и управления процессами стерилизации и копчения" МГТУ. Авторами программы являются канд. техн. наук, профессор кафедры автоматики и вычислительной техники (АиВТ) Маслов А.А.; канд. техн. наук, ст. научн. сотр. кафедры АиВТ Кайченев А.В.; мл. научн. сотр. кафедры АиВТ Селяков И.Ю.; ведущий электроник кафедры АиВТ Аминов В.А.

Программа «PLC_PRG» является основным алгоритмом работы универсальной коптильно-сушильной установки в ходе процесса копчения и вяления продукции. Алгоритм работы программы разработан на языке CFC (Continuous Function Chart). Данная программа производит основной расчет переменных и управляет всеми подпрограммами, входящих в ее состав.

Универсальная коптильно - сушильная установка используется ООО «Интро» для производства вяленой, копченой рыбы и изготовления полуфабриката полугорячего копчения для производства консервов.

Начальник учебно-экспериментального цеха _____ Гроховский В.А.

Заведующий кафедрой АиВТ _____ Маслов А.А.

Старший научный сотрудник кафедры АиВТ _____ Кайченев А.В.

Младший научный сотрудник кафедры АиВТ _____ Селяков И.Ю.

Ведущий электроник кафедры АиВТ _____ Аминов В.А.


Приложение 8 – Акт о внедрении программы для ЭВМ «IP320 для универсальной коптильно-сушильной установки»

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ООО «Интро»

183010, г.Мурманск,

ул. Спортивная д.13.

 А.Ю. Ильин

«*08*» *сентября* 2013г.



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

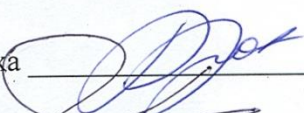
программы для ЭВМ «IP320

для универсальной коптильно-сушильной установки»

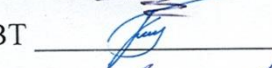
В учебно-экспериментальном цехе МГТУ в блоке системы автоматического управления универсальной коптильно-сушильной установки (УКСУ) установлена и протестирована программа для ЭВМ "IP320 для универсальной коптильно-сушильной установки". Программа разработана в рамках ГБ НИР № ГР01200900799 "Комплексная модернизация систем контроля и управления процессами стерилизации и копчения" МГТУ. Авторами программы являются канд. техн. наук, профессор кафедры автоматики и вычислительной техники (АиВТ) Маслов А.А.; канд. техн. наук, ст. научн. сотр. кафедры АиВТ Кайченев А.В.; мл. научн. сотр. кафедры АиВТ Селяков И.Ю.; ведущий электроник кафедры АиВТ Аминов В.А.

Подпрограмма «IP320» вызывается из основного алгоритма работы универсальной коптильно-сушильной установки в ходе процесса копчения и вяления продукции. Алгоритм работы подпрограммы разработан на языке FBD (Function Block Diagram). Данная подпрограмма производит промежуточный расчет переменных и отвечает за реализацию временных интервалов работы установки и реализацию аварийно-предупредительной сигнализации.

Универсальная коптильно - сушильная установка используется ООО «Интро» для производства вяленой, копченой рыбы и изготовления полуфабриката полугорячего копчения для производства консервов.

Начальник учебно-экспериментального цеха  Гроховский В.А.

Заведующий кафедрой АиВТ  Маслов А.А.

Старший научный сотрудник кафедры АиВТ  Кайченев А.В.

Младший научный сотрудник кафедры АиВТ  Селяков И.Ю.

Ведущий электроник кафедры АиВТ  Аминов В.А.

Приложение 9 – Акт о внедрении программы для ЭВМ «Модуль задания режимов релаксации»

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ООО «Интро»

183010, г. Мурманск,

Ул. Спортивная д.13.

А.Ю. Ильин

2014 г.



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

программы для ЭВМ «Модуль задания режимов релаксации»

В учебно-экспериментальном цехе МГТУ в блоке системы автоматического управления установки для поиска оптимальных режимов малогабаритной (УПОР-М) установлена и протестирована программа для ЭВМ “ Модуль задания режимов релаксации ”. Программа разработана в рамках ГБ НИР № ГР01200900799 "Комплексная модернизация систем контроля и управления процессами стерилизации и копчения" МГТУ. Авторами программы являются: мл. научн. сотр. кафедры АиВТ Селяков И.Ю.; канд. техн. наук, зав. кафедрой АиВТ Маслов А.А.; канд. техн. наук, ст. научн. сотр. кафедры ТПП Ершов М.А.; канд. техн. наук, ст. научн. сотр. кафедры АиВТ Власов А.В.; канд. техн. наук, ст. научн. сотр. кафедры АиВТ Кайченев А.В.; научн. сотр. кафедры АиВТ Власова А.Р..

В алгоритме программы реализован блок управления продолжительностью релаксации при обезвоживании сырья в малогабаритной установки для поиска оптимальных технологических режимов. Программа управляет работой циркуляционных вентиляторов и изменяет уставки температуры в микропроцессорном измерителе-регуляторе ТРМ-148. Алгоритм работы программы разработан на языке Structured Text (CoDeSys V2.3).

Установка для поиска оптимальных режимов малогабаритная используется ООО «Интро» для разработки режимов производства вяленой, копченой рыбы.

Начальник учебно-экспериментального цеха _____ Гроховский В.А.

Младший научный сотрудник кафедры АиВТ _____ Селяков И.Ю.

Заведующий кафедрой АиВТ _____ Маслов А.А.

Старший научный сотрудник кафедры ТПП _____ Ершов М.А.

Старший научный сотрудник кафедры АиВТ _____ Кайченев А.В.

Старший научный сотрудник кафедры АиВТ _____ Власов А.В.

Научный сотрудник кафедры АиВТ _____ Власова А.В.

Приложение 10 – Акт о внедрении программы для ЭВМ «Программа пятиканального блока управления фазовыми регуляторами напряжения»

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ООО «Интро»

183010, г.Мурманск,

ул. Спортивная д.13.

А.Ю. Ильин

2014 г.



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

программы для ЭВМ «Программа пятиканального блока управления фазовыми регуляторами напряжения»

В учебно-экспериментальном цехе МГТУ в блоке системы автоматического управления установки для поиска оптимальных режимов малогабаритной (УПОР-М) установлена и протестирована программа для ЭВМ «Программа пятиканального блока управления фазовыми регуляторами напряжения». Программа разработана в рамках ГБ НИР № ГР01200900799 "Комплексная модернизация систем контроля и управления процессами стерилизации и копчения" МГТУ. Авторами программы являются: мл. научн. сотр. кафедры АиВТ Селяков И.Ю.; канд. техн. наук, ст. научн. сотр. кафедры АиВТ Власов А.В.; канд. техн. наук, ст. научн. сотр. кафедры АиВТ Кайченев А.В.; научн. сотр. кафедры АиВТ Власова А.Р..

В алгоритме реализован драйвер управления фазовым регулятором напряжения. Программа принимает входной токовый сигнала 4-20мА с программируемого логического контроллера и преобразует его в сигнал с изменяющимся коэффициентом заполнения широтно-импульсного модулятора в диапазоне 100-0%. Алгоритм работы программы разработан на языке Макроассемблер для PIC18F (MPLab IDE). Расчитанные переменные данная программа отправляет по 485 интерфейсу в модуль сбора данных МСД200 для записи на карту памяти.

Установка для поиска оптимальных режимов малогабаритная используется ООО «Интро» для разработки режимов производства вяленой, копченой рыбы.

Начальник учебно-экспериментального цеха _____ Гроховский В.А.

Младший научный сотрудник кафедры АиВТ _____ Селяков И.Ю.

Старший научный сотрудник кафедры АиВТ _____ Кайченев А.В.

Старший научный сотрудник кафедры АиВТ _____ Власов А.В.

Научный сотрудник кафедры АиВТ _____ Власова А.В.

Приложение 11 – Акт о внедрении программы для ЭВМ «Пятиканальный программный ШИМ для управления вентиляторами постоянного тока»

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ООО «Интро»

183010, г.Мурманск,

ул. Спортивная д.13.

А.Ю. Ильин

2014 г.



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

программы для ЭВМ «Пятиканальный программный ШИМ

для управления вентиляторами постоянного тока»

В учебно-экспериментальном цехе МГТУ в блоке системы автоматического управления установки для поиска оптимальных режимов малогабаритной (УПОР-М) установлена и протестирована программа для ЭВМ “ Пятиканальный программный ШИМ для управления вентиляторами постоянного тока ”. Программа разработана в рамках ГБ НИР № ГР01200900799 "Комплексная модернизация систем контроля и управления процессами стерилизации и копчения" МГТУ. Авторами программы являются: мл. научн. сотр. кафедры АиВТ Селяков И.Ю.; канд. техн. наук, ст. научн. сотр. кафедры АиВТ Власов А.В.; канд. техн. наук, ст. научн. сотр. кафедры АиВТ Кайченев А.В.; научн. сотр. кафедры АиВТ Власова А.Р..

В алгоритме реализован драйвер управления вентиляторами постоянного тока. Программа принимает входной токовый сигнала 4-20мА с программируемого логического контроллера и преобразует его в сигнал с изменяющимся коэффициентом заполнения широтно-импульсного модулятора в диапазоне 50-100%. Выходной сигнал используется для управления вентиляторами постоянного тока. Алгоритм работы программы разработан на языке Макроассемблер для PIC18F (MPLab IDE). Расчитанные переменные данная программа отправляет по 485 интерфейсу в модуль сбора данных МСД200 для записи на карту памяти.

Установка для поиска оптимальных режимов малогабаритная используется ООО «Интро» для разработки режимов производства вяленой, копченой рыбы.

Начальник учебно-экспериментального цеха _____ Гроховский В.А.

Младший научный сотрудник кафедры АиВТ _____ Селяков И.Ю.

Старший научный сотрудник кафедры АиВТ _____ Кайченев А.В.

Старший научный сотрудник кафедры АиВТ _____ Власов А.В.

Научный сотрудник кафедры АиВТ _____ Власова А.В.

**Приложение 12 – Акт о внедрении программы для ЭВМ
«Программа управления секциями установки для поиска
оптимальных технологических режимов»**

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ООО «Интро»

183010, г.Мурманск,

ул. Спортивная д.13.



А.Ю. Ильин

« » 2014 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

**программы для ЭВМ «Программа управления секциями
установки для поиска оптимальных технологических режимов»**

В учебно-экспериментальном цехе МГТУ в блоке системы автоматического управления установки для поиска оптимальных режимов малогабаритной (УПОР-М) установлена и протестирована программа для ЭВМ «Программа управления секциями установки для поиска оптимальных технологических режимов». Программа разработана в рамках ГБ НИР № ГР01200900799 "Комплексная модернизация систем контроля и управления процессами стерилизации и копчения" МГТУ. Авторами программы являются: мл. научн. сотр. кафедры АиВТ Селяков И.Ю.; ведущий электроник кафедры АиВТ Аминов В.А.; канд. техн. наук, ст. научн. сотр. кафедры АиВТ Власов А.В.; канд. техн. наук, ст. научн. сотр. кафедры АиВТ Кайченев А.В.; научн. сотр. кафедры АиВТ Власова А.Р..

В алгоритме реализован блок управления секциями установки для поиска оптимальных технологических режимов. Программа считывает текущую температуру в секции, влажность, и посылает уставки на восьми канальный измеритель-регулятор ТРМ-148, управляет циркуляционными вентиляторами, реализует защиту по температуре.

Установка для поиска оптимальных режимов малогабаритная используется ООО «Интро» для разработки режимов производства вяленой, копченой рыбы.

Начальник учебно-экспериментального цеха _____ Гроховский В.А.

Младший научный сотрудник кафедры АиВТ _____ Селяков И.Ю.

Старший научный сотрудник кафедры АиВТ _____ Кайченев А.В.

Старший научный сотрудник кафедры АиВТ _____ Власов А.В.

Ведущий электроник кафедры АиВТ _____ Аминов В.А.

Научный сотрудник кафедры АиВТ _____ Власова А.В.

Приложение 13 – Акт о внедрении программы для ЭВМ «Модуль подсчета электроэнергии, затраченной на технологический процесс»

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ООО «Интро»

183010, г. Мурманск,

ул. Спортивная д.13.

А.Ю. Ильин

2014 г.



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

программы для ЭВМ «Модуль подсчета электроэнергии, затраченной на технологический процесс»

В учебно-экспериментальном цехе МГТУ в блоке системы автоматического управления установки для поиска оптимальных режимов малогабаритной (УПОР-М) установлена и протестирована программа для ЭВМ "Модуль подсчета электроэнергии, затраченной на технологический процесс". Программа разработана в рамках ГБ НИР № ГР01200900799 "Комплексная модернизация систем контроля и управления процессами стерилизации и копчения" МГТУ. Авторами программы являются: мл. научн. сотр. кафедры АиВТ Селяков И.Ю.; ведущий электроник кафедры АиВТ Аминов В.А.; канд. техн. наук, ст. научн. сотр. кафедры АиВТ Власов А.В.; канд. техн. наук, ст. научн. сотр. кафедры АиВТ Кайченев А.В.; научн. сотр. кафедры АиВТ Власова А.Р..

В алгоритме программы реализован блок подсчета количества электроэнергии, затраченной на процесс копчения или вяления рыбы. Дискретный сигнал с поверочного входа счетчика электрической энергии приходит на вход программируемого логического контроллера, который в соответствии с программой рассчитывает затраченную на процесс электроэнергию. Алгоритм работы программы разработан на языке CFC (Continuous Function Chart). Расчитанные переменные данная программа отправляет по 485 интерфейсу в модуль сбора данных МСД200 для записи на карту памяти.

Установка для поиска оптимальных режимов малогабаритная используется ООО «Интро» для разработки режимов производства вяленой, копченой рыбы.

Начальник учебно-экспериментального цеха _____ Гроховский В.А.

Младший научный сотрудник кафедры АиВТ _____ Селяков И.Ю.

Старший научный сотрудник кафедры АиВТ _____ Кайченев А.В.

Старший научный сотрудник кафедры АиВТ _____ Власов А.В.

Ведущий электроник кафедры АиВТ _____ Аминов В.А.

Научный сотрудник кафедры АиВТ _____ Власова А.В.

Приложение 14 – Акт о внедрении программы для ЭВМ «Модуль расчета потерь массы сырья»

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ООО «Интро»

183010, г.Мурманск,

ул. Спортивная д.13.

А.Ю. Ильин

2014 г.



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

программы для ЭВМ «Модуль расчета потерь массы сырья»

В учебно-экспериментальном цехе МГТУ в блоке системы автоматического управления установки для поиска оптимальных режимов малогабаритной (УПОР-М) установлена и протестирована программа для ЭВМ “ Модуль расчета потерь массы сырья ”. Программа разработана в рамках ГБ НИР № ГР01200900799 "Комплексная модернизация систем контроля и управления процессами стерилизации и копчения" МГТУ. Авторами программы являются: мл. научн. сотр. кафедры АиВТ Селяков И.Ю.; ведущий электроник кафедры АиВТ Аминов В.А.; канд. техн. наук, ст. научн. сотр. кафедры АиВТ Власов А.В.; канд. техн. наук, ст. научн. сотр. кафедры АиВТ Кайченоев А.В.; научн. сотр. кафедры АиВТ Власова А.Р., аспирант кафедры АиВТ Ерещенко В.В.

В алгоритме реализован блок подсчета потерь массы сырья за время процесса копчения или вяления рыбы. Программируемый логический контроллер подает питание и прогревает датчики веса в течение определенного времени. Снимаются показания нормированного сигнала, приходящего на АЦП, вычисляется текущая масса рыбы и потеря массы за процесс, затем питание с датчиков отключается. Алгоритм работы программы разработан на языке CFC (Continuous Function Chart). Расчитанные переменные данная программа отправляет по 485 интерфейсу в модуль сбора данных МСД для записи на карту памяти.

Установка для поиска оптимальных режимов малогабаритная используется ООО «Интро» для разработки режимов производства вяленой, копченой рыбы.

Начальник учебно-экспериментального цеха _____ Гроховский В.А.

Младший научный сотрудник кафедры АиВТ _____ Селяков И.Ю.

Старший научный сотрудник кафедры АиВТ _____ Кайченоев А.В.

Старший научный сотрудник кафедры АиВТ _____ Власов А.В.

Ведущий электроник кафедры АиВТ _____ Аминов В.А.

Научный сотрудник кафедры АиВТ _____ Власова А.В.

Аспирант кафедры АиВТ _____ Ерещенко В.В.

Приложение 15 – Описание экспериментов при идентификации параметров модели процесса копчения пищевых продуктов.

Необходимо получить зависимость температуры в камере от времени (переходную характеристику) температурного контура коптильной камеры при следующих условиях:

Эксперимент №1. Нагрев осуществляется от температуры окружающей среды до установившегося значения температуры в камере под действием 50% мощности ТЭНов при закрытых заслонках свежего воздуха и дыма и выключенном дымогенераторе. Охлаждение камеры осуществляется при полностью открытых заслонках и выключенных нагревателях. Временные зависимости исходных данных и аппроксимирующей их модели-кандидата 1го порядка представлены на рисунках 1. – нагрев и 2. – остывание.

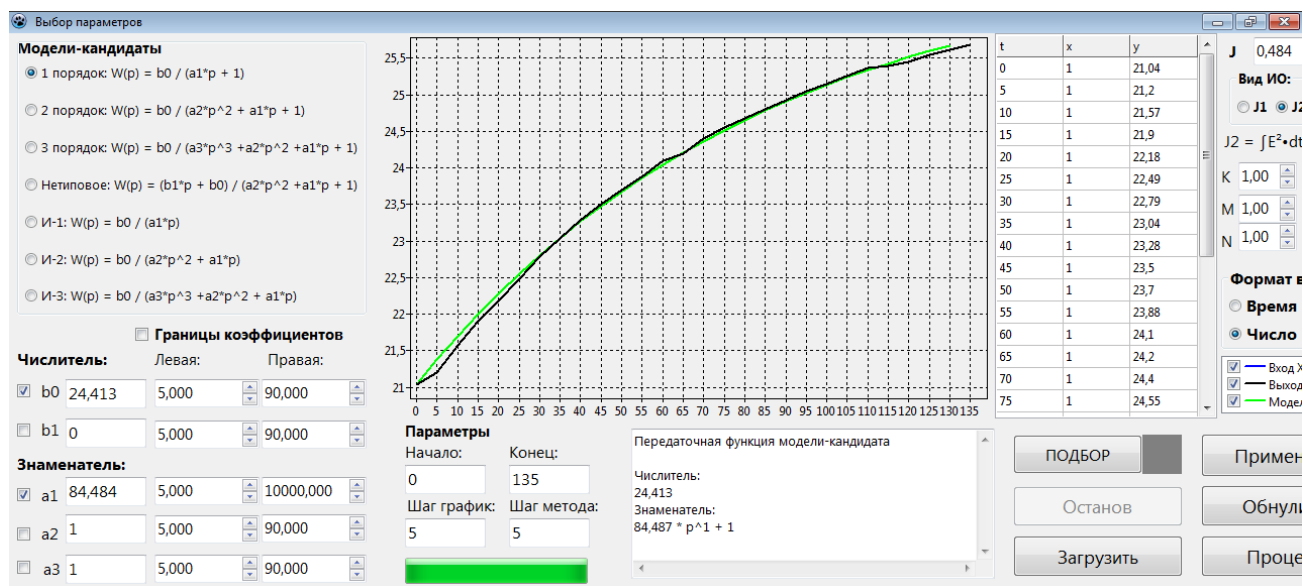


Рисунок 1 – Временные зависимости исходных данных и модели 1го порядка

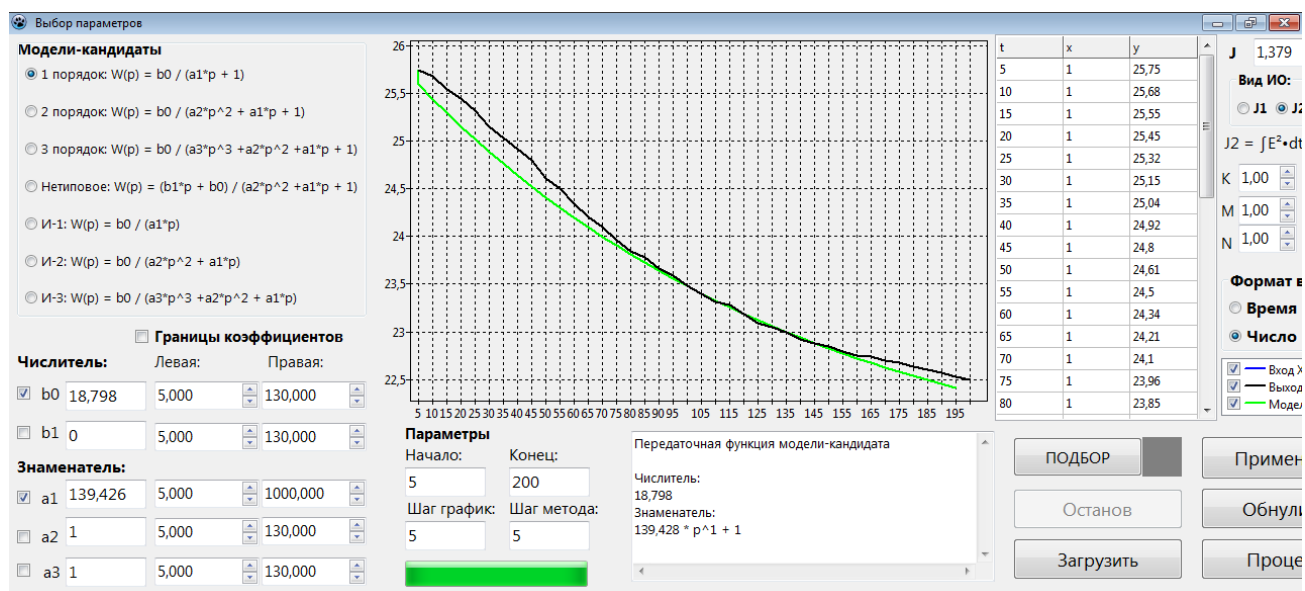


Рисунок 2 – Временные зависимости исходных данных и модели 1го порядка

В результате обработки данных эксперимента получены следующие результаты.

Коэффициенты дифференциального уравнения температурной динамики нагрева коптильной камеры при воздействии 50% теплового потока ТЭНов:

$$84,5 \cdot y'(t) + y(t) = 24,4 \cdot x(t) \quad (1)$$

Коэффициенты дифференциального уравнения температурной динамики остывания коптильной камеры при выключении ТЭНов :

$$139,4 \cdot y'(t) + y(t) = 18,8 \cdot x(t) \quad (2.)$$

Эксперимент №2. Нагрев происходит от температуры окружающей среды до установившегося значения температуры в камере под действием 25% мощности ТЭНов при закрытых заслонках свежего воздуха и дыма и выключенном дымогенераторе. Дальнейший нагрев происходит под действием 100% мощности ТЭНов в тех же условиях. Временные зависимости исходных

данных и аппроксимирующей их модели-кандидата 1го порядка представлены на рисунках 3. – нагрев 25% мощности и 4. – нагрев 100% мощности.

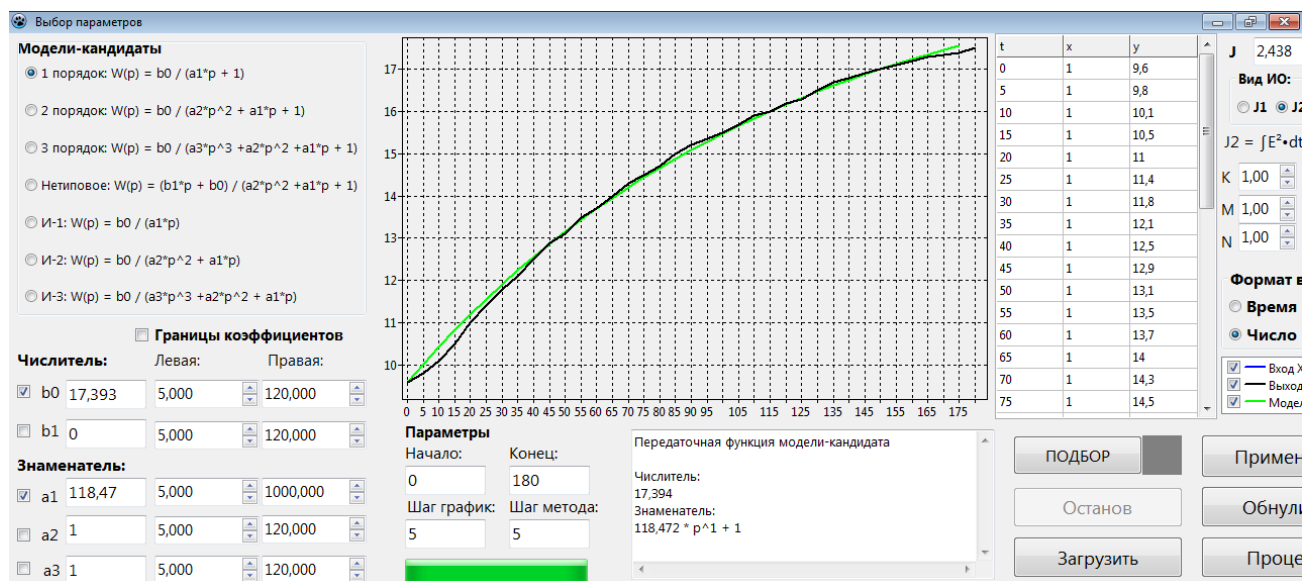


Рисунок 3 – Временные зависимости исходных данных и модели 1го порядка

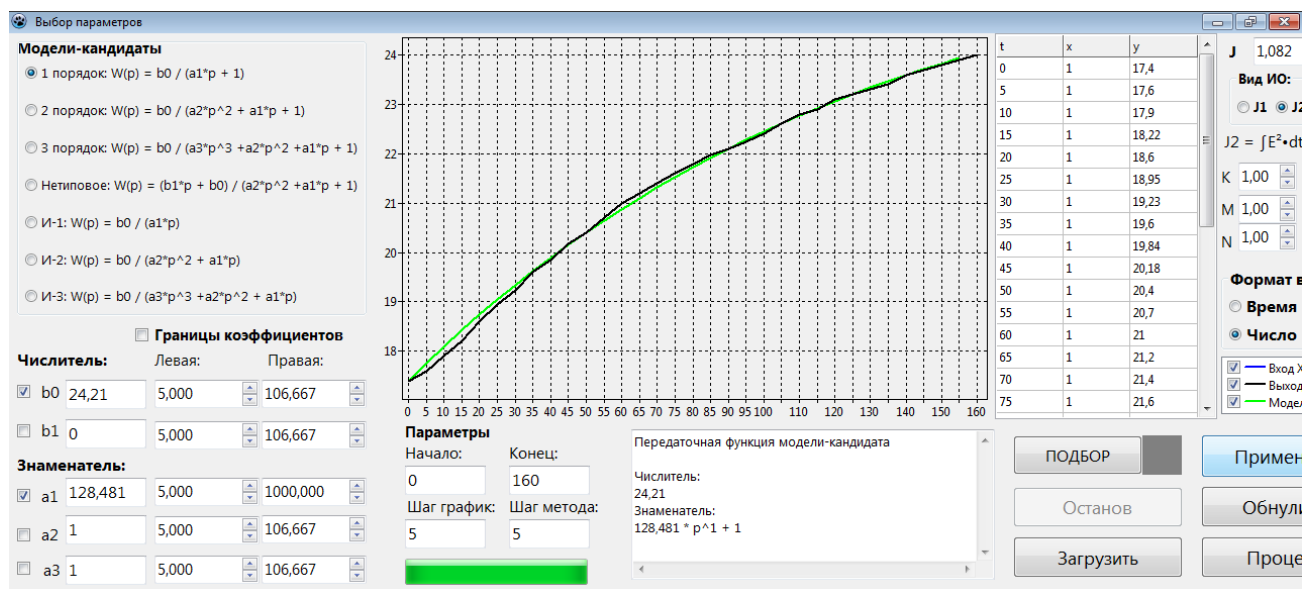


Рисунок 4 – Временные зависимости исходных данных и модели 1го порядка

В результате обработки данных эксперимента получены следующие результаты.

Коэффициенты дифференциального уравнения температурной динамики нагрева коптильной камеры при воздействии 25% теплового потока ТЭНов:

$$118,5 \cdot y'(t) + y(t) = 17,39 \cdot x(t) \quad (3)$$

Коэффициенты дифференциального уравнения температурной динамики нагрева коптильной камеры при воздействии 100% теплового потока ТЭНов:

$$128,5 \cdot y'(t) + y(t) = 24,21 \cdot x(t) \quad (4)$$

Эксперимент №3. Нагрев от температуры окружающей среды происходит до установившегося значения температуры в камере под действием тепла созданного дымогенератором, потребляющего 50% мощности, при закрытых заслонках свежего воздуха и дыма и неработающих нагревателей, с последующим охлаждением камеры при полностью открытых заслонках и выключенном дымогенераторе. Временные зависимости исходных данных и аппроксимирующей их модели-кандидата 1го порядка представлены на рисунках 5 – нагрев и 6 – остывание.

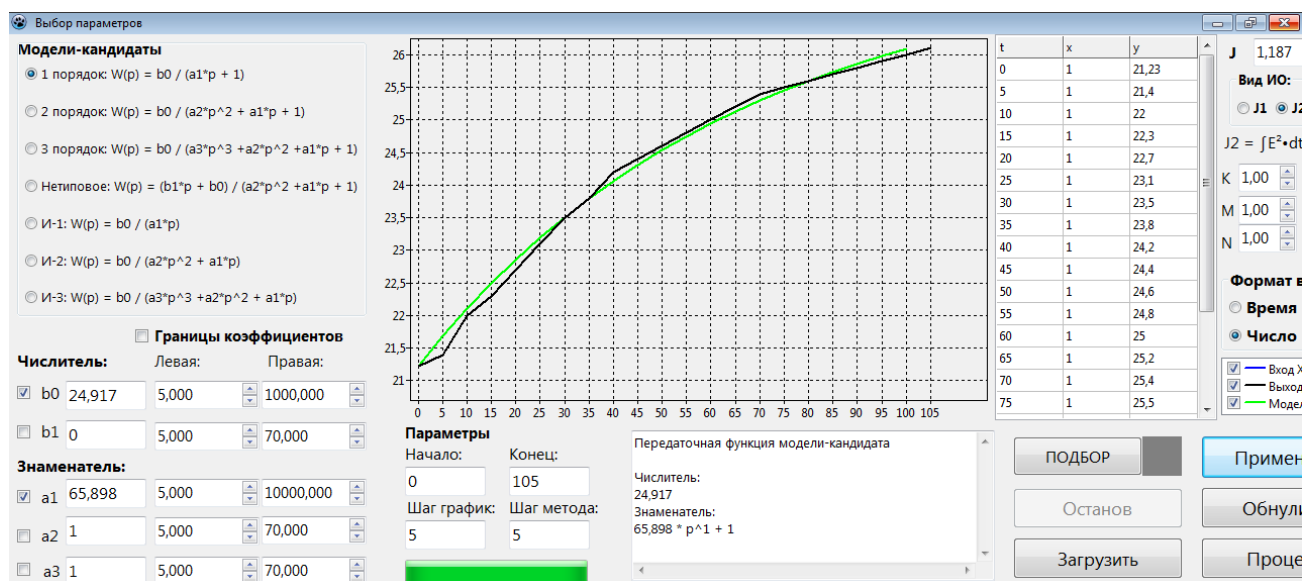


Рисунок 5 – Временные зависимости исходных данных и модели 1го порядка

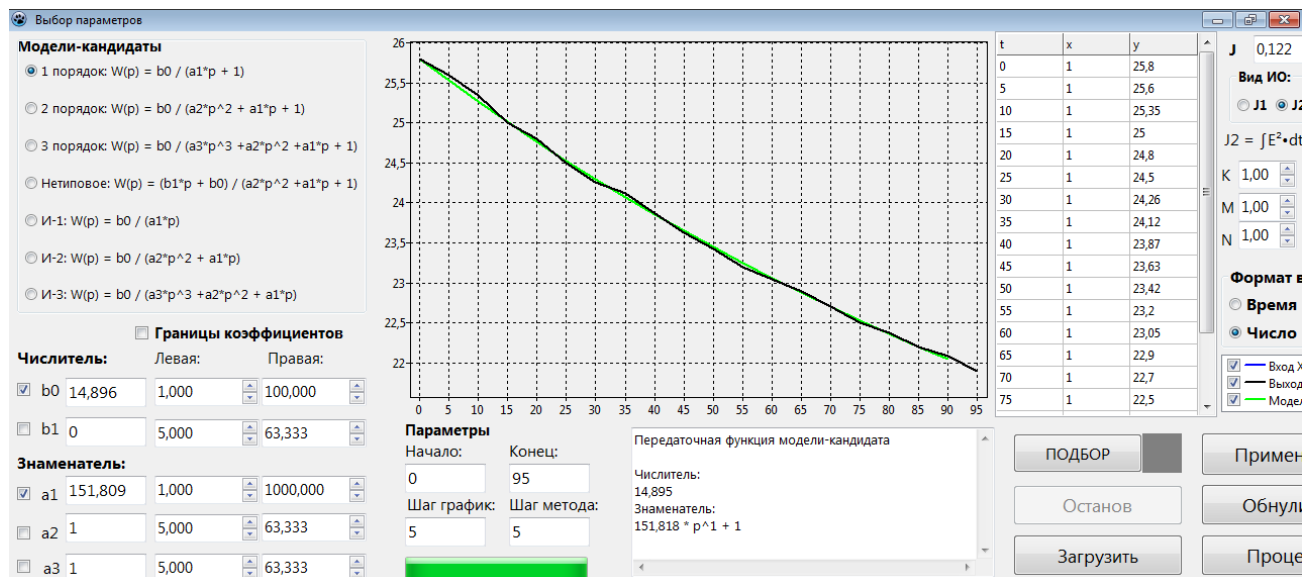


Рисунок 6 – Временные зависимости исходных данных и модели 1го порядка

В результате обработки данных эксперимента получены следующие результаты.

Коэффициенты дифференциального уравнения температурной динамики нагрева коптильной камеры при воздействии теплового потока от потребляющего 50% мощности дымогенератора:

$$65,9 \cdot y'(t) + y(t) = 24,92 \cdot x(t) \quad (5)$$

Коэффициенты дифференциального уравнения температурной динамики остывания коптильной камеры при выключении дымогенератора:

$$151,8 \cdot y'(t) + y(t) = 14,9 \cdot x(t) \quad (6)$$

Эксперимент №4. Нагрев происходит от температуры окружающей среды до установившегося значения температуры в камере под действием 100% мощности ТЭНов при закрытых заслонках свежего воздуха и дыма и выключенном дымогенераторе. Дальнейший нагрев происходит от установившейся температуры до нового установившегося значения температуры в камере под действием тепла созданного дымогенератором при закрытых заслонках свежего воздуха и дыма и работающими на 100% ТЭНами. Охлаждение камеры происходит при полностью открытых заслонках, выключенном дымогенераторе и работающих ТЭНах до установившейся температуры смеси с последующим охлаждением камеры при полностью открытых заслонках и выключенных ТЭНах. Временные зависимости исходных данных и аппроксимирующей их модели-кандидата 1го порядка представлены на рисунках 7. – нагрев под действием дымогенератора и 8. – остывание при выключении дымогенератора.

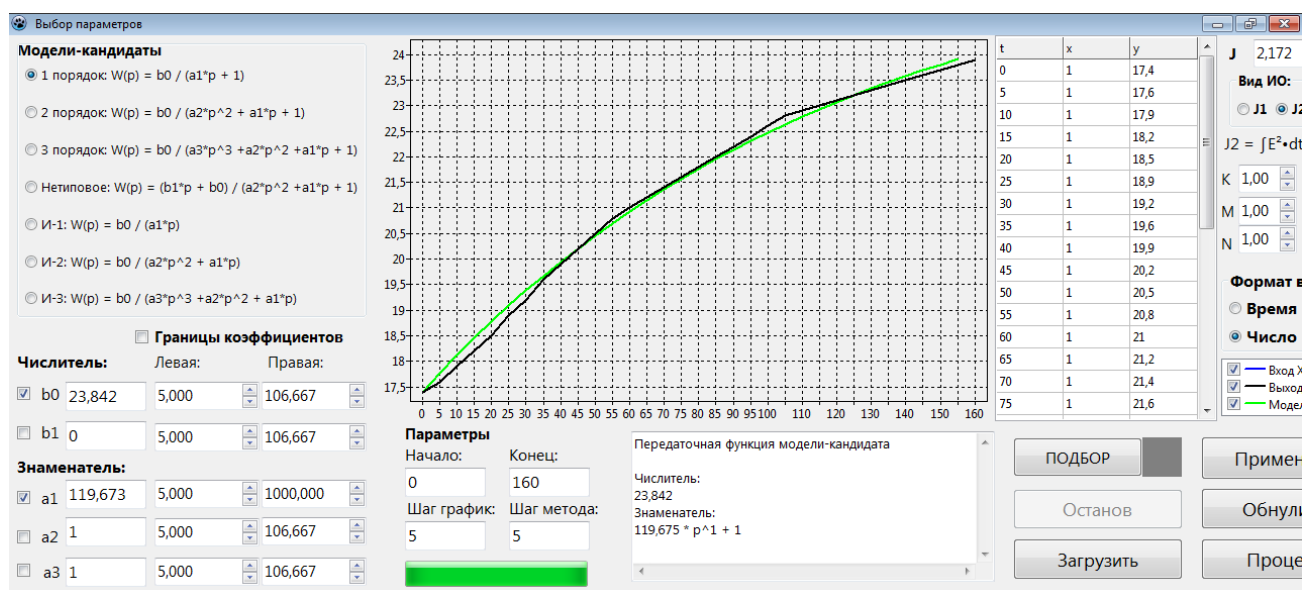


Рисунок 7 – Временные зависимости исходных данных и модели 1го порядка

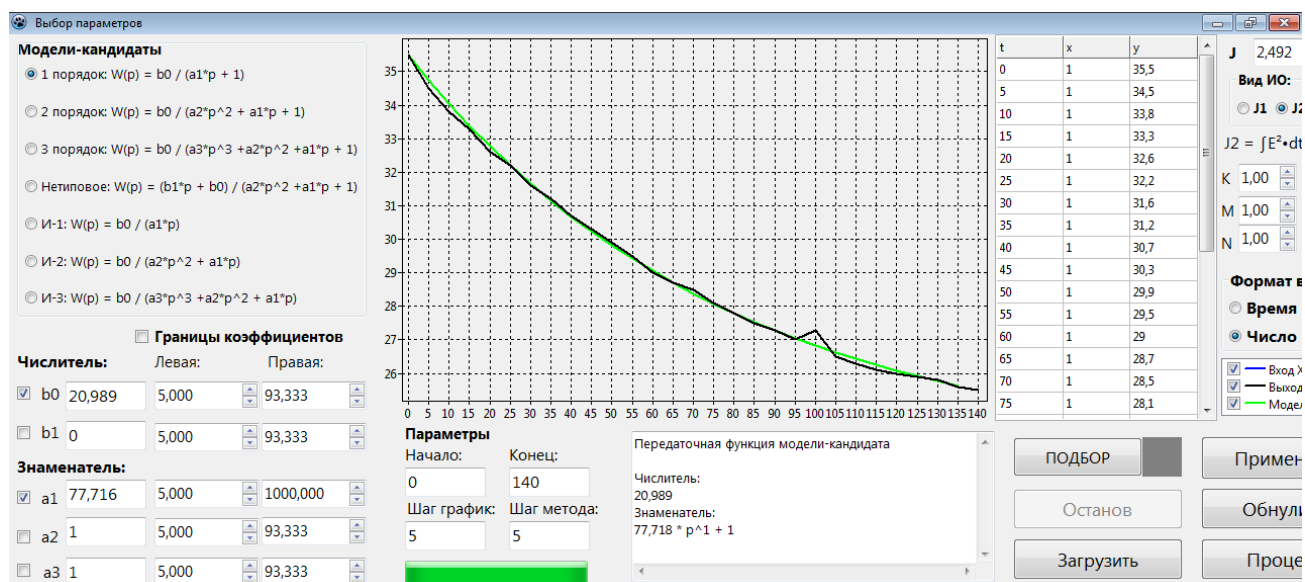


Рисунок 8 – Временные зависимости исходных данных и модели 1го порядка

В результате обработки данных эксперимента были получены следующие результаты.

Коэффициенты дифференциального уравнения температурной динамики нагрева коптильной камеры при воздействии теплового потока от работающего на полную мощность дымогенератора при включенных на 50% ТЭНах:

$$119,7 \cdot y'(t) + y(t) = 23,8 \cdot x(t) \quad (7)$$

Коэффициенты дифференциального уравнения температурной динамики остывания коптильной камеры при выключении дымогенератора, но включенных на 50% ТЭНах:

$$77,72 \cdot y'(t) + y(t) = 21 \cdot x(t) \quad (8.)$$

Получение переходных характеристик контура влажности дымовоздушной смеси коптильной камеры.

Для изучения свойств объекта в различных режимах необходимо снять характеристики повышения и снижения влажности дымовоздушной смеси камеры при изменении положения заслонок на 25%, 50%, 75% и 100%.

Эксперимент №5. При минимальной влажности в камере и полностью закрытых заслонках происходит фиксация увеличения влажности дымовоздушной смеси в камере от времени от источника влажности (противней с водой, расположенных на разных уровнях камеры). После установления влажности на определенном уровне при открытых заслонках происходит фиксация переходной характеристики уменьшения влажности. Временные зависимости исходных данных и аппроксимирующей их модели 1го порядка представлены на рисунках 9. – увеличение влажности и 10. – уменьшение влажности.

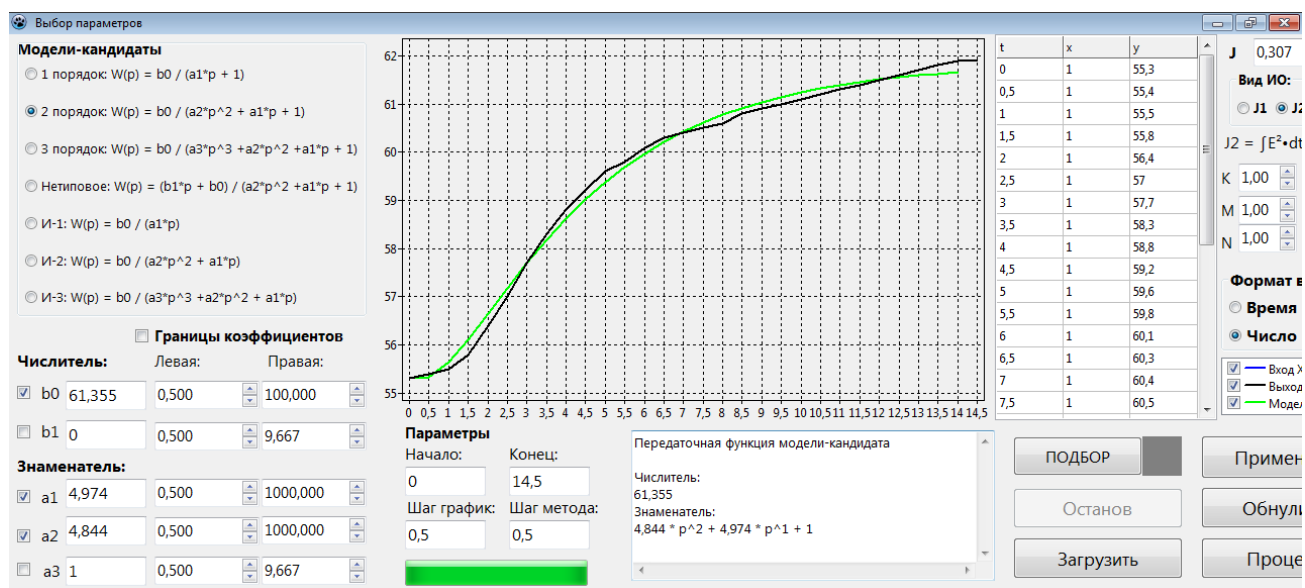


Рисунок И.9 – Временные зависимости исходных данных и модели 1го порядка

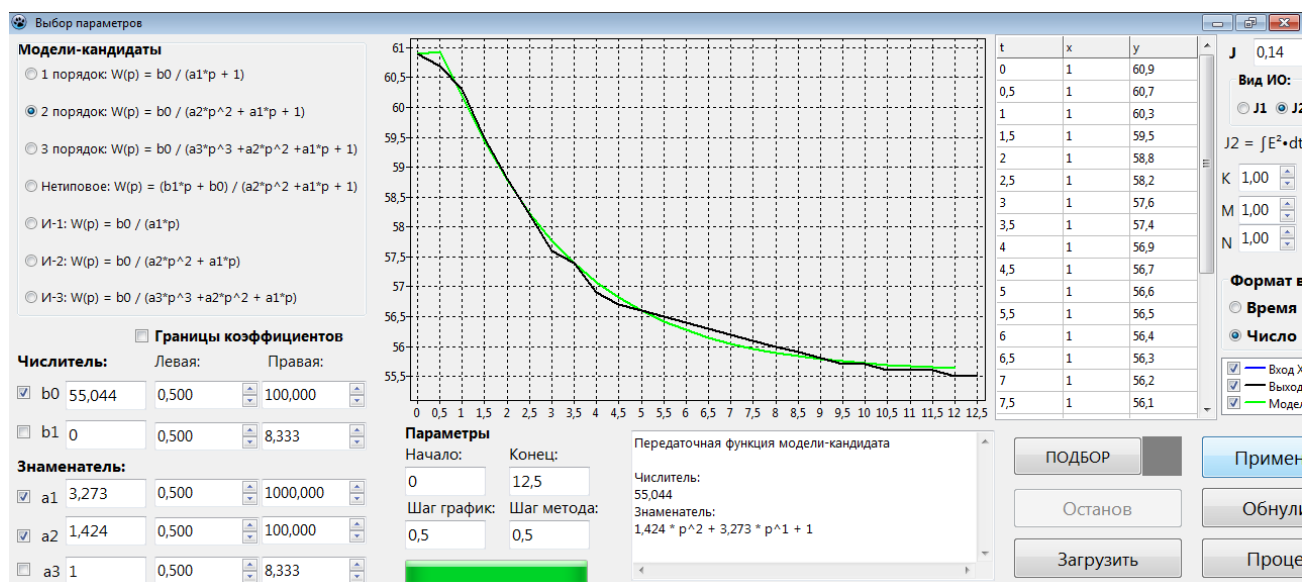


Рисунок 2.10 – Временные зависимости исходных данных и модели 1го порядка

В результате обработки данных эксперимента были получены следующие результаты.

Коэффициенты дифференциального уравнения динамики роста влажности дымовоздушной смеси при закрытии заслонок:

$$4,84 \cdot y''(t) + 4,97 \cdot y'(t) + y(t) = 61,4 \cdot x(t) \quad (9.)$$

Коэффициенты дифференциального уравнения динамики падения влажности дымовоздушной смеси в коптильной камере при открытии заслонок:

$$1,4 \cdot y''(t) + 3,27 \cdot y'(t) + y(t) = 55,04 \cdot x(t) \quad (10.)$$

Эксперимент №6. При минимальной влажности в камере и полностью закрытых заслонках и включенных нагревателях происходит фиксация увеличения влажности дымовоздушной смеси в камере от времени от источника влажности (противней с водой, расположенных на разных уровнях камеры). После установления влажности на определенном уровне при открытых заслонках и включенных нагревателях происходит фиксация переходной

характеристики уменьшения влажности. Временные зависимости исходных данных и аппроксимирующей их модели-кандидата 1го порядка представлены на рисунках 11. – увеличение влажности и 12. – уменьшение влажности.

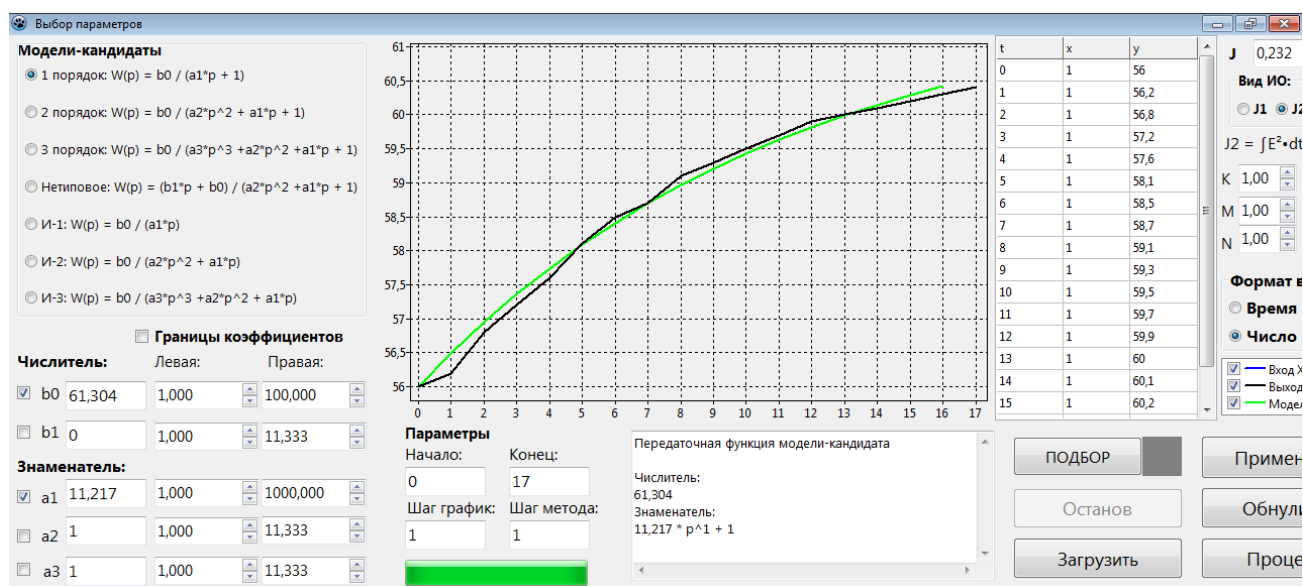


Рисунок 11 – Временные зависимости исходных данных и модели 1го порядка

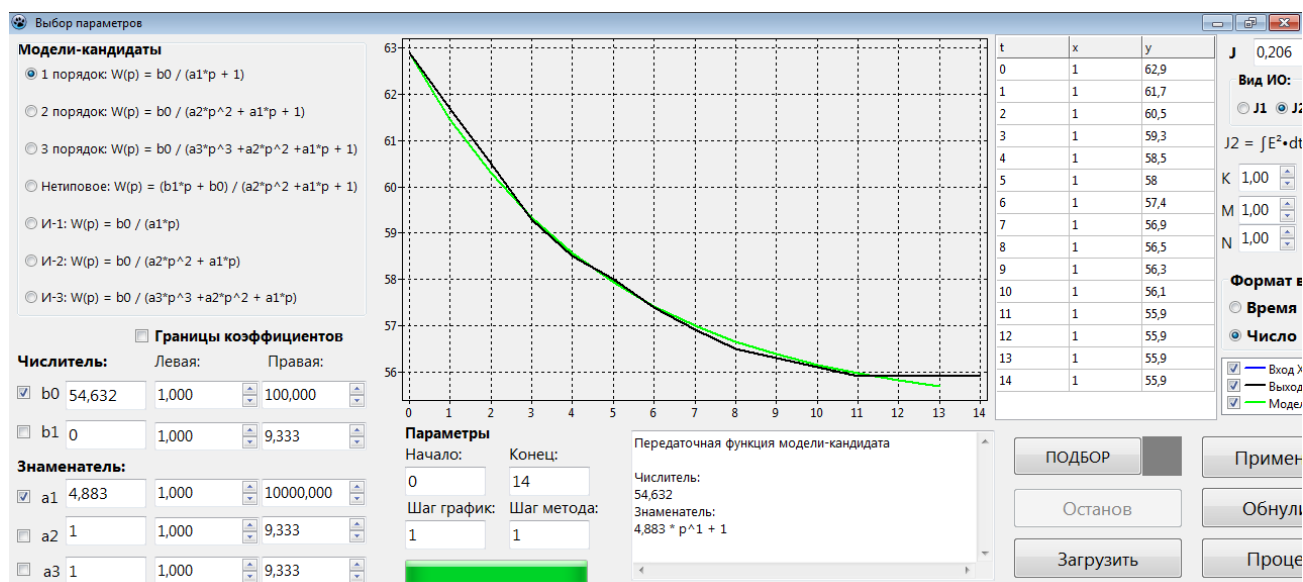


Рисунок 12 – Временные зависимости исходных данных и модели 1го порядка

В результате обработки данных эксперимента получены следующие результаты.

Коэффициенты дифференциального уравнения динамики роста влажности дымовоздушной смеси при закрытии заслонок и воздействии 100% теплового потока ТЭНов:

$$11,2 \cdot y'(t) + y(t) = 61,3 \cdot x(t) \quad (11.)$$

Коэффициенты дифференциального уравнения динамики падения влажности дымовоздушной смеси в коптильной камере при открытии заслонок и сохранении воздействия 100% теплового потока ТЭНов:

$$4,88 \cdot y'(t) + y(t) = 54,6 \cdot x(t) \quad (12.)$$

Эксперимент №7. При средней температуре технологического процесса, минимальной влажности, закрытых на 50% заслонках и включенных на 50% ТЭН происходит фиксация влажности дымовоздушной смеси в камере от времени. После установления влажности на определенном уровне при открытых до 65° заслонках и включенных на 50% нагревателей происходит фиксация переходной характеристики уменьшения влажности. Временные зависимости исходных данных и аппроксимирующей их модели-кандидата 2го порядка представлены на рисунках 13. – увеличение влажности и 14. – уменьшение влажности.

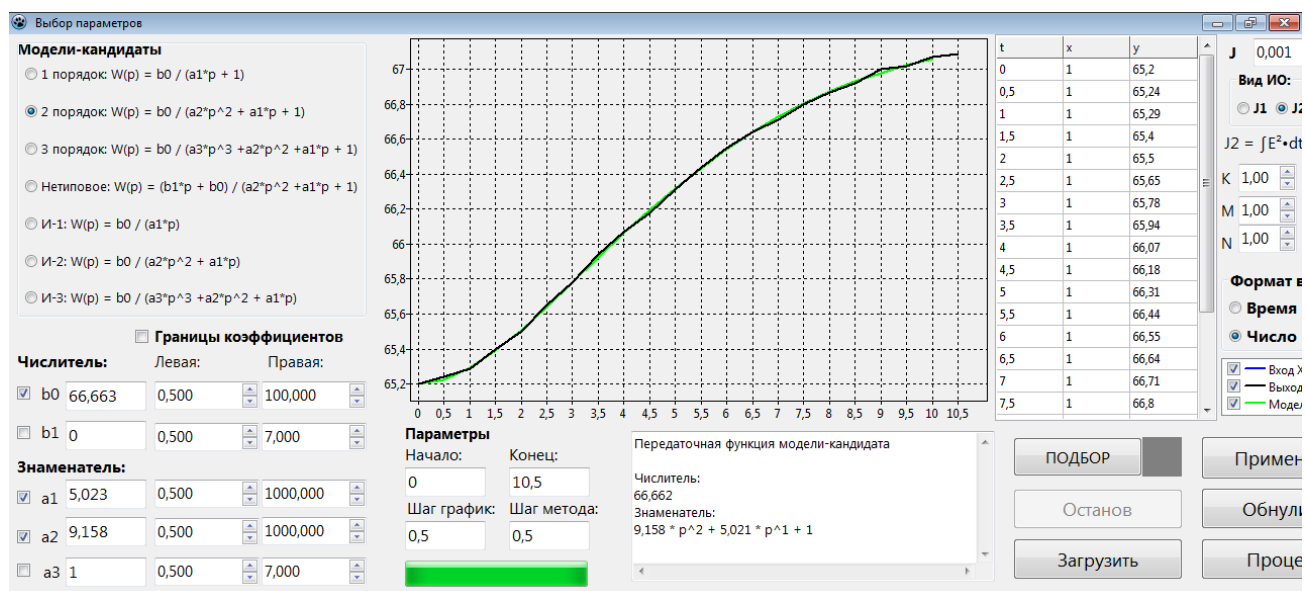


Рисунок 13 – Временные зависимости исходных данных и модели 2го порядка

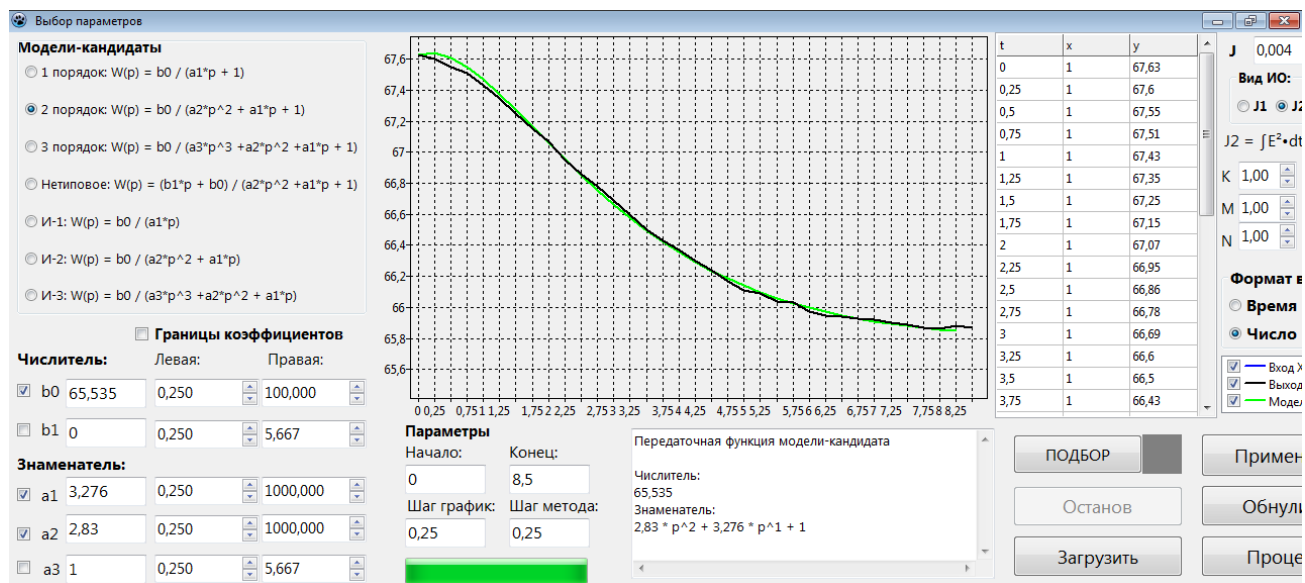


Рисунок 14 – Временные зависимости исходных данных и модели 2го порядка

В результате обработки данных эксперимента были получены следующие результаты.

Коэффициенты дифференциального уравнения динамики роста влажности дымовоздушной смеси при закрытии заслонок до 20° и воздействии 50% теплового потока ТЭНов:

$$9,158 \cdot y''(t) + 5,021 \cdot y'(t) + y(t) = 66,66 \cdot x(t) \quad (13)$$

Коэффициенты дифференциального уравнения динамики падения влажности смеси в коптильной камере при открытии заслонок до 65° и сохранении воздействия 50% теплового потока ТЭНов:

$$2,83 \cdot y''(t) + 3,28 \cdot y'(t) + y(t) = 65,5 \cdot x(t) \quad (14)$$

Эксперимент №8. Нагрев осуществляется от температуры окружающей среды до установившегося значения температуры в камере под действием 100% мощности ТЭНов при закрытых заслонках свежего воздуха и дыма и выключенном дымогенераторе. Охлаждение камеры происходит при полностью открытых заслонках и выключенных нагревателях. Временные зависимости исходных данных и аппроксимирующей их модели-кандидата 1го порядка представлены на рисунках 15 – нагрев и 16 – остывание.

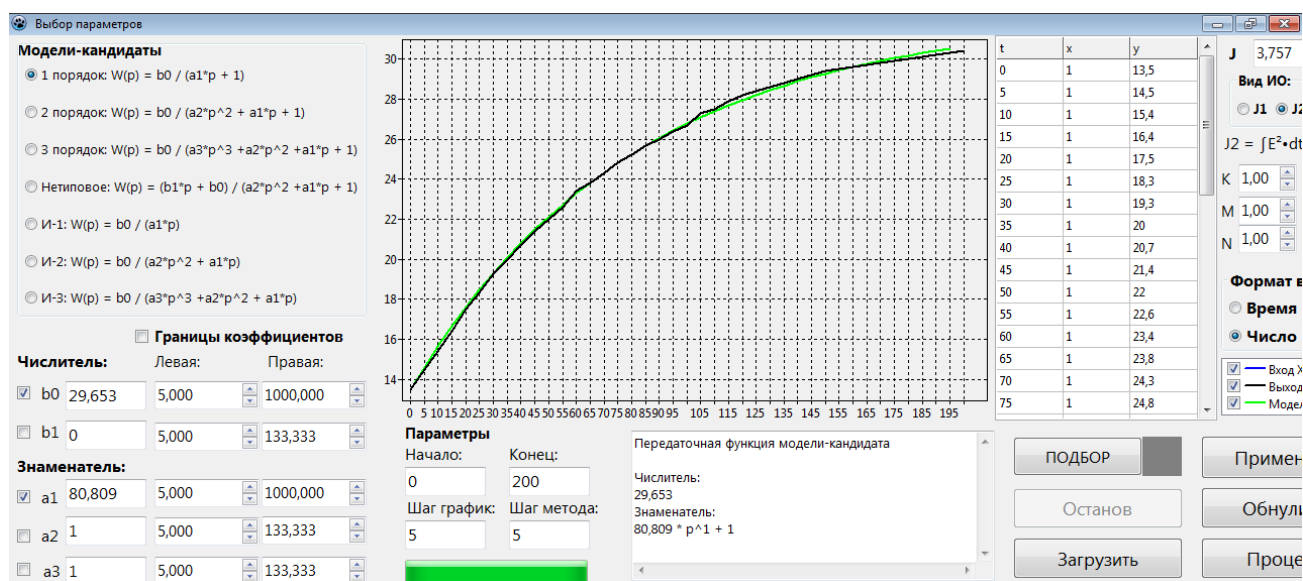


Рисунок 15 – Временные зависимости исходных данных и модели 1го порядка

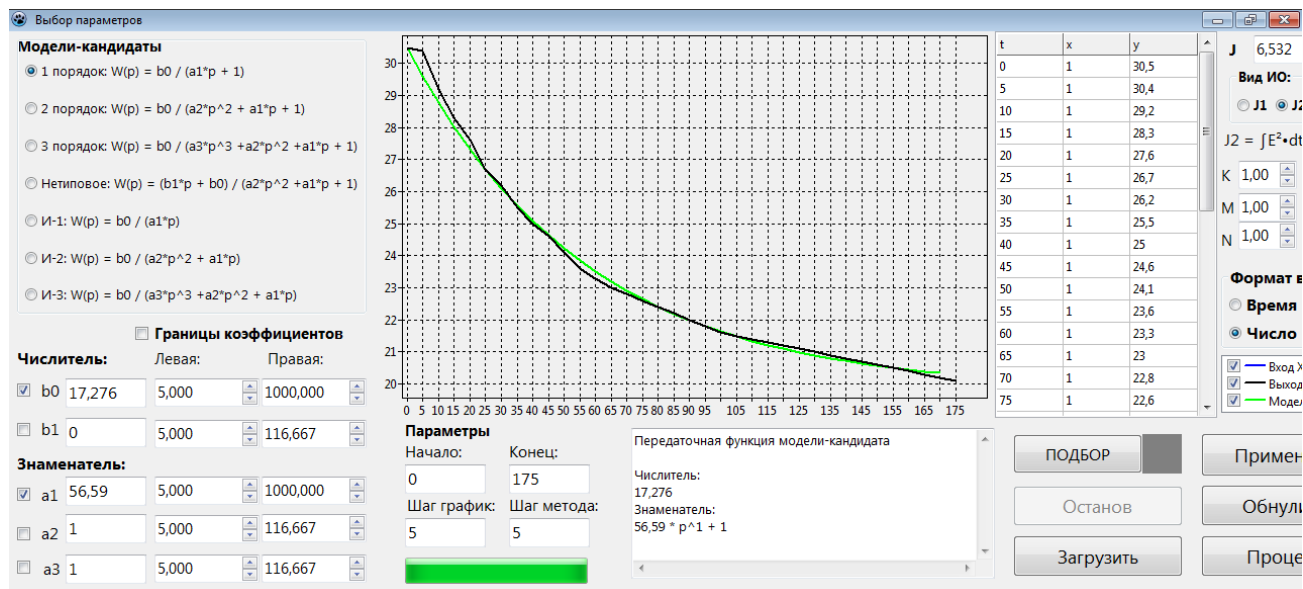


Рисунок 16 – Временные зависимости исходных данных и модели 1го порядка

В результате обработки данных эксперимента получены следующие результаты.

Коэффициенты дифференциального уравнения температурной динамики нагрева коптильной камеры при воздействии 100% теплового потока ТЭНов:

$$80,81 \cdot y'(t) + y(t) = 29,65 \cdot x(t) \quad (15)$$

Коэффициенты дифференциального уравнения температурной динамики остывания коптильной камеры при выключении ТЭНов :

$$56,6 \cdot y'(t) + y(t) = 17,3 \cdot x(t) \quad (16)$$

Приложение 16 – Описание имитационной модели автоклава Н2-ИТА-602.

Рассмотрим порядок расчета на примере модуля для паровой среды. Модуль начинается с описания притока среды Δm . В случае, если соответствующий клапан подачи открыт, осуществляется расчет приращения массы пара в соответствии с формулой:

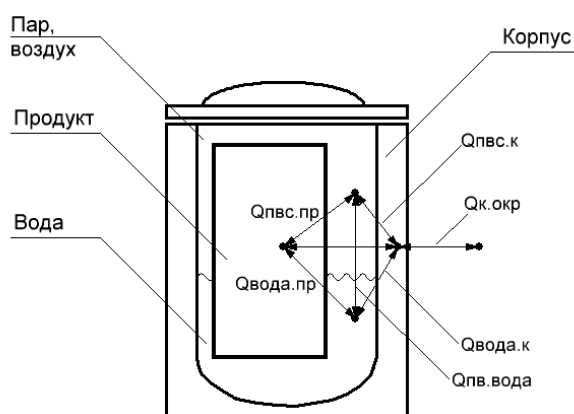
$$\Delta m = S \cdot \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho(t)}} \cdot h \quad (17)$$

где S – минимальное сечение тракта передачи пара;

ΔP - гидравлический напор между магистралью и автоклавом;

$\rho(t)$ - плотность насыщенного водяного пара при температуре t ;

h – размер шага.



$Q_{к.окр}$ – теплота, отводимая от аппарата в окружающую среду; $Q_{пвс.к}$ и $Q_{вода.к}$ – теплоты, передаваемые от паровоздушной смеси и воды корпусу соответственно; $Q_{пвс.пр}$ и $Q_{вода.пр}$ – теплоты, передаваемые от паровоздушной смеси и воды продукту соответственно; $Q_{пв.вода}$ – теплота, которой обмениваются паровоздушная смесь и вода

Рисунок 17. Схема теплообмена в модели автоклава

Если масса пара изменились вследствие притока Δm в автоклав, то температура пара $t_{пар}$ рассчитывается по формуле:

$$t_{пар} = \frac{m_{пар} \cdot t_{пар} + \Delta m \cdot t_{маг}}{m_{пар} + \Delta m}, \quad (18)$$

где $t_{маг}$ – температура пара в магистральной; $m_{пар}$ is масса пара в аппарате.

Далее в модуле расчета параметров паровой среды производится расчет парциального давления пара. Традиционный подход к вычислению давления пара в аппарате достаточно ресурсоемкий, поэтому для упрощения предлагается следующий метод. Вначале рассчитывается коэффициент k , показывающий долю имеющейся массы пара от максимально возможной массы пара в аппарате при данной температуре:

$$k = \frac{m_{\text{пар}} + \Delta m}{\rho(t) \cdot V_{\text{free}}}, \quad (19)$$

где V_{free} – свободный объем (который может занять паровоздушная смесь) в аппарате.

Соответственно, давление пара рассчитывается как

$$P_{\text{пара}}(t) = P_{\text{нас.п}}(t) \cdot k, \quad (20)$$

где $P_{\text{нас.п}}$ – давление насыщенного водяного пара при температуре t .

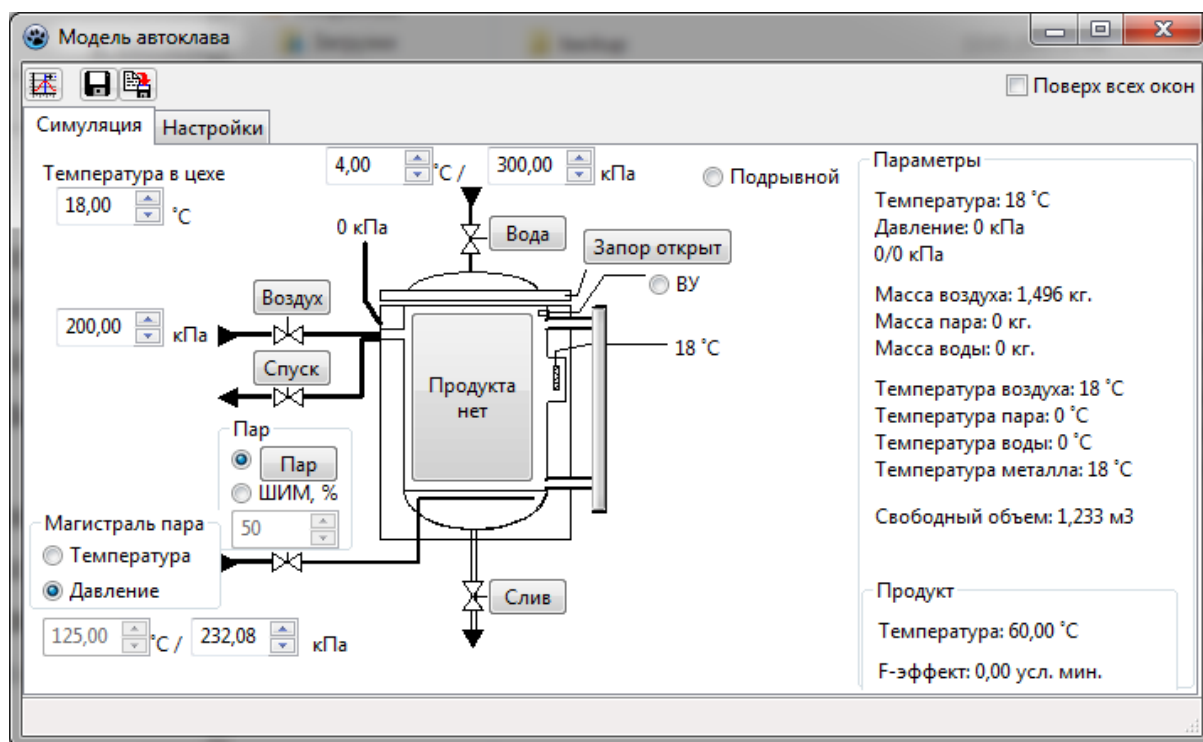


Рисунок 18. Основное окно моделирующего приложения

Затем имеющийся в аппарате пар вступает в теплообмен в соответствии со схемой, представленной на рисунке 17. По формуле (21) определяется

количество теплоты Q , передаваемой от пара за единицу шага к соответствующему объекту (воде, воздуху, металлу и продукту):

$$Q = F \cdot \alpha \cdot \Delta T, \quad (21)$$

где F – площадь поверхности теплообмена между паром и данным объектом;

α – коэффициент пропорциональности;

ΔT – температурный напор между паром и данным объектом.

Далее по рассчитанному значению поступившей или отведенной теплоты в соответствии с формулой (22) определяется изменение температуры Δt каждого объекта теплообмена:

$$\Delta t = \frac{Q}{C_{об} \cdot m_{об}}, \quad (22)$$

где $C_{об}$ – удельная теплоемкость материала объекта;

$m_{об}$ – масса объекта.

Полученные в результате расчетов значения теплоты суммируются, на основании полученного значения рассчитывается количество сконденсировавшегося пара $m_{конд}$, увеличивающего массу воды в аппарате на величину:

$$m_{конд} = \frac{\Sigma Q}{R_n \cdot C}, \quad (23)$$

где ΣQ – суммарное значение теплоты, отдаваемой паром воздуху, продукту, воде и металлу аппарата;

R_n – удельная теплота парообразования;

C – поправочный коэффициент, учитывающий, что не все количество теплоты затрачено на конденсацию (определяется по результатам анализа опытных данных).

В случае, когда присутствует избыточное давление в аппарате, проверяются состояние подрывного клапана, клапанов спуска и слива, закрытие крышки. В случае, когда какой-либо из упомянутых элементов открыт, масса пара уменьшается на величину расхода за единицу времени, рассчитываемого по

формуле (17). В случае, когда в аппарате присутствует некоторое количество воды, отвод пара через открытый клапан слива не производится.

Так как вследствие тепло- и массообмена температура и масса пара изменились, пересчитывается его парциальное давление по формулам (19) и (20). Также, исходя из рассчитанного значения давления, по известным зависимостям рассчитывается температура, которая для насыщенного водяного пара является функцией давления.

Модуль для определения параметров воды в автоклаве осуществляет расчеты по схожей схеме. Отличие возникает в случае, когда в стерилизационной камере присутствует пар. При подаче воды в аппарат рассчитывается обмен теплотой между холодной водой и горячим паром с последующей конденсацией. Это обеспечивает адекватное реальному процессу поведение модели на этапе охлаждения при стерилизации консервов в паровой среде.

В конце модуля для определения параметров воды рассчитываются уровень воды в аппарате, площади теплообмена между водой и корпусом стерилизационной камеры, водой и продуктом, паровоздушной смесью и корпусом, паровоздушной смесью и продуктом, паровоздушной смесью и водой. Расчет указанных параметров основан на известных значениях геометрических размеров аппарата, клеток с банками и массы воды.

Модуль для определения параметров воздуха содержит расчеты по приведенной выше схеме. Отличие от модуля расчета параметров пара заключается в том, что при открытой крышке в зависимости от знака избыточного давления может осуществляться как отвод содержащегося в аппарате воздуха (по формуле (17)), так и приток окружающего воздуха с «цеховыми» параметрами. Давление воздуха рассчитывается по формуле:

$$P_{\text{возд}} = \frac{m_{\text{возд}}}{V_{\text{free}} \cdot M} \cdot R \cdot t_{\text{возд}}, \quad (24)$$

где $P_{\text{возд}}$ – искомое парциальное давление воздуха;

$m_{\text{возд}}$ – масса воздуха;

M – молярная масса воздуха;

R – универсальная газовая постоянная.

Далее в расчетной схеме производится вычисление изменения температуры корпуса аппарата по формуле (21) вследствие теплообмена с окружающей средой.

В случае, когда в аппарате присутствуют и пар, и воздух, температура паровоздушной смеси $t_{пвс}$ рассчитывается пропорционально массам и температурам соответствующих составляющих:

$$t_{пвс} = \frac{m_{нап} \cdot t_{нап} + m_{возд} \cdot t_{возд}}{m_{нап} + m_{возд}} \quad (25)$$

Показания штатного датчика температуры, оборудованного гильзой и имеющего вследствие этого определенную инерционность, рассчитываются методом Эйлера для линейного дифференциального уравнения 1-го порядка с постоянной времени 10 секунд и коэффициентом передачи 1. Выбор метода обусловлен его вычислительной простотой. В случае, если гильза датчика находится в воде, т.е. уровень воды в аппарате превышает высоту установки датчика температуры, в качестве входной величины для расчетов показаний термодатчика берется температура воды. Если же датчик находится в паровоздушной среде, то его показания рассчитываются на основе температуры паровоздушной смеси.

Давление в аппарате рассчитывается как сумма парциальных давлений воздуха и пара при их наличии. Если автоклав полностью заполнен водой (рассматриваемой как несжимаемая жидкость), то давление в нем определяется по воде в зависимости от состояния клапанов подачи воды, спуска и слива.

Приведенная выше расчетная схема основана на ряде допущений. Протекающие в стерилизационной камере процессы тепло- и массообмена рассматриваются как происходящие не одновременно друг с другом, а также дискретно по времени. Не учитываются явления передачи тепла через пленку конденсата корпусу аппарата и продукту. Не учитывается зависимость теплоемкостей объектов стерилизационной камеры от температуры, не

учитывается связь удельной теплоты парообразования с параметрами насыщенного водяного пара. Водяной пар принимается как сухой насыщенный со степенью сухости 1. Упрощенно рассматриваются вопросы истечения пара, воды и воздуха, а также вопросы теплоотдачи. Продукт считается гомогенизированным, фазовые превращения содержимого банок отсутствуют и т.п.

Приложение 17 – Акты о внедрении результатов НИР в производство

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГАОУ ВО «МГТУ»)

СОГЛАСОВАНО:

Проректор по НИР


К.Б. Алдояров
«__» декабря 2021 г.

УТВЕРЖДАЮ:

Генеральный директор
АО «Стрелец»
183038, г. Мурманск,
ул. Шмидта, 43


Ю.В. Паршев
«__» _____ 2021 г.

АКТ 21 /21

о внедрении результатов НИР по теме № 1.28/18 «Исследование, разработка и совершенствование систем управления технологическими процессами» в производство.

1. Наименование предложения для внедрения:

Научно-квалификационная работа и результаты диссертационного исследования по теме «Разработка и исследование способа автоматического управления процессом пастеризации продуктов из гидробιονтов».

2. Кем предложена разработка: ФГАОУ ВО «МГТУ» в рамках темы НИР № 1.28/18 «Исследование, разработка и совершенствование систем управления технологическими процессами» № ГР АААА-А18-118032690292-5, руководитель Кайченов А. В., канд. техн. наук, доцент, зав. каф. А и ВТ; исполнитель: Жук А. А., ст. преподаватель каф. А и ВТ.

3. Краткая аннотация разработки

Способ задания режима пастеризации продуктов из гидробιονтов, основанный на применении математических моделей, которые позволяют точно определить динамику температуры среды автоклава и получить заданные показатели качества консервной продукции. Способ автоматического управления процессом пастеризации продуктов из гидробιονтов в промышленном автоклаве на основе теории пространства переменных состояния и регулятора состояния, позволяющий получить требуемые показатели качества регулирования и упростить настройку системы. Аппроксимирующие математические модели стерилизационной камеры промышленного автоклава ASCAMAT-230 и паштетного продукта из гидробιονтов при пастеризации в стеклянной и жестяной консервной таре в водной среде. Метод разработки системы управления процессом пастеризации продуктов из гидробιονтов в промышленном автоклаве с применением численного математического и имитационного моделирования, современной теории автоматического управления. Математическая модель системы автоматического управления процессом пастеризации продукта из гидробιονтов в промышленном автоклаве. Программно-аппаратный комплекс оптимальной системы автоматического управления процессом пастеризации на базе современных технических средств автоматизации, позволяющий осуществить предложенный способ управления.

4. Где и когда внедрено: АО «Стрелец» (юридический адрес: 183038, г. Мурманск, ул. Шмидта, 43) с 10.12.2021 г.

Протокол заседания кафедры А и ВТ от 17 декабря 2021 г. № 3.

Зав. кафедрой А и ВТ,
руководитель темы

Директор ИМА МГТУ




А. В. Кайченов

С. Д. Березенко

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
 ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
 «МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
 (ФГАОУ ВО «МГТУ»)

СОГЛАСОВАНО:
 Проректор по НИР

К.Б. Аллояров
 « » декабря 2021 г.

УТВЕРЖДАЮ:

Генеральный директор
 АО «Стрелец»
 183038, г. Мурманск,
 ул. Шмидта, 43

Ю.В. Паршев
 « » 2021 г.

АКТ 20 /21

о внедрении результатов НИР по теме № 1.28/18 «Исследование, разработка и совершенствование систем управления технологическими процессами» в производство.

1. Наименование предложения для внедрения:

Результаты диссертационного исследования по теме «Разработка автоматизированной системы научных исследований процессов стерилизации продуктов из гидробактериальных культур».

2. Кем предложена разработка: ФГАОУ ВО «МГТУ» в рамках темы НИР № 1.28/18 «Исследование, разработка и совершенствование систем управления технологическими процессами» № ГР АААА-А18-118032690292-5, руководитель Кайченев А. В., канд. техн. наук, доцент, зав. каф. А и ВТ; исполнитель: Столянов А. В., ст. преподаватель каф. А и ВТ.

3. Краткая аннотация разработки

Разработан программный комплекс для автоматизированного подбора режимов и создания автоматизированной системы научных исследований процессов стерилизации продуктов из гидробактериальных культур. Исследовано влияние этапов нагрева и охлаждения на конечное значение фактического стерилизующего эффекта готовой продукции. Сделаны выводы о влиянии интервалов измерения температуры при проведении процесса термической обработки продуктов из гидробактериальных культур на конечное значение фактического стерилизующего эффекта. С помощью разработанного программного комплекса получены численные математические модели продуктов из гидробактериальных культур в виде передаточных функций и проведено математическое моделирование температурного профиля автоклава для этапов режима термической обработки. Научно обоснована эффективность разработанного программного комплекса для оптимизации временных и энергетических затрат на один процесс автоклавоварки (с сохранением F-эффекта и качества продукта на заданном уровне) на этапе предварительного подбора при получении нового или совершенствовании существующего режима термической обработки продуктов из гидробактериальных культур.

4. Где и когда внедрено: АО «Стрелец» (юридический адрес: 183038, г. Мурманск, ул. Шмидта, 43) с 10.12.2021 г.

Протокол заседания кафедры А и ВТ от 17 декабря 2021 г. № 3.

Зав. кафедрой А и ВТ,
 руководитель темы

Директор ИМА МГТУ



- А. В. Кайченев

С. Д. Березенко

Приложение 18 – Акт о внедрении результатов НИР в производство

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
 ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
 «МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
 (ФГАОУ ВО «МГТУ»)

СОГЛАСОВАНО:
 Проректор по НИР


 К.Б. Аллояров
 « 10 » декабря 2021 г.

УТВЕРЖДАЮ:

Генеральный директор
 АО «Стрелец»
 183038, г. Мурманск,
 ул. Шмидта, 43
 Ю.В. Паршев
 « 10 » _____ 2021 г.

АКТ 22 /21

о внедрении результатов НИР по теме № 1.01/21 «Исследование, разработка и модернизация систем автоматического управления технологическими и производственными процессами» в производство.

1. Наименование предложения для внедрения:

Актуализирована и утверждена технологическая инструкция (ТИ) по стерилизации консервов в автоклавах «ASCAMAT-230» в условиях АО «Стрелец».

2. Кем предложена разработка: ФГАОУ ВО «МГТУ» в рамках темы НИР № 1.01/21 «Исследование, разработка и модернизация систем автоматического управления технологическими и производственными процессами» ГР 121060200030-9, руководитель к.т.н., зав. каф. АиВТ Кайченев А.В.; исполнители: ст. преп. каф. АиВТ Столянов А.В., ст. преп. каф. АиВТ Жук А.А.

3. Краткая аннотация разработки

Настоящая инструкция устанавливает технологические требования и регламенты ведения процесса стерилизации в условиях консервного производства судов АО «Стрелец». Инструкция разработана и актуализирована с учётом результатов производственных испытаний на автоклавах ASCAMAT-230 на судах в морских условиях. В технологической инструкции по стерилизации в воде консервов в автоклавах ASCAMAT-230 отражены основные технические характеристики стерилизационного оборудования (автоклава, системы автоматизации и регистрации параметров стерилизации), подготовка автоклава к работе, работа автоклава в ручном и автоматическом режимах, требования по технике безопасности. Актуализированная ТИ согласована специалистами Заказчика.

4. Где и когда внедрено: на АО «Стрелец», (юр. адрес: 183038, г. Мурманск, ул. Шмидта, 43) с 10.12.2021г.

Протокол заседания кафедры А и ВТ от 17 декабря 2021 г. № 3.

Зав. кафедрой А и ВТ,
 руководитель темы

Директор ИМА МГТУ




А. В. Кайченев

С. Д. Берзенко