

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МУРМАНСКИЙ АРКТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

СТОЛЯНОВ
АЛЕКСАНДР ВЯЧЕСЛАВОВИЧ



**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ПРОЦЕССОВ СТЕРИЛИЗАЦИИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ**

Специальность 2.3.3 – Автоматизация и управление
технологическими процессами и производствами

Диссертация на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
Кайченев Александр Вячеславович
доктор технических наук, доцент

Мурманск – 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ПРОЦЕССА И НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ СТЕРИЛИЗАЦИИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ	11
1.1 Основные сведения о процессе тепловой обработки	11
1.2 Аналитический обзор состояния и тенденций научных исследований	13
1.3 Критический анализ литературы.....	23
1.4 Описание объектов, методов и средств исследования.....	28
1.5 Постановка цели и задач исследования. Программно-целевая модель исследований	37
Выводы по главе 1	39
ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СТЕРИЛИЗАЦИИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ	40
2.1 Описание исследуемых процессов.....	40
2.2 Процесс нагрева автоклава.....	43
2.3 Этап охлаждения.....	51
2.4 Энергозатраты на процесс.....	54
2.5 Интервал измерения температуры греющей среды	56
2.6 Температурное поле автоклава.....	58
Выводы по главе 2	60
ГЛАВА 3. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИК И АЛГОРИТМОВ РАЗРАБОТКИ РЕЖИМОВ СТЕРИЛИЗАЦИИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ . 61	
3.1 Общие сведения о разработке режимов.....	61
3.2 Этап предварительного подбора режима стерилизации	62
3.3 Классификация режимов стерилизации	64
3.4 Экономичная методика разработки и ее модернизация	69
3.5 Прогнозирование F-эффекта при управлении процессом стерилизации пищевых продуктов	74
3.6 Цифровой двойник автоклава.....	80

3.7 Автоматизированная система научных исследований.....	82
Выводы по главе 3	95
ГЛАВА 4. ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АСНИ.....	97
ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ СТЕРИЛИЗАЦИИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ	97
4.1 Блок имитационного моделирования.....	97
4.2 Блок физического моделирования	101
4.3 Реализация экспертной системы	118
Выводы по главе 4	123
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	124
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	125
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	127
ПРИЛОЖЕНИЯ	149
Приложение А – Руководство пользователя	149
Приложение Б – Дополнительная информация о системе САУСТ-1Е	157
Приложение В – Результаты интеллектуальной деятельности.....	160
Приложение Г – Акты о внедрении результатов исследований	165

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования.

Одной из целей Стратегии развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года является цифровая трансформация с учетом текущих внешнеполитических и экономических рисков, а ключевым ориентиром развития – «внедрение новых решений, позволяющих оптимизировать производственные процессы» [1].

В недавнем прошлом режимы термической обработки продуктов обеспечивали промышленную стерильность готовой продукции на любом автоклаве. Из-за недостаточной точности аппаратного и программного обеспечения консервного оборудования было важно обеспечить микробиологическую безопасность и здоровье конечного потребителя. Также не учитывались энергетические, временные и материальные затраты необходимые для производства, так как результат оценивался только по одному параметру – количеству готовой продукции, произведенной в установленные сроки. Однако развитие техники не стоит на месте и, в настоящее время, продолжительности этапов режима термической обработки продуктов можно задавать с точностью до десятков секунд, что позволяет достигать заданного значения фактического стерилизующего эффекта (фактической летальности) с превышением не более чем на 10 %. Поэтому непрерывное совершенствование режимов стерилизации пищевых продуктов, сочетающих сохранение микробиологической безопасности и органолептических качеств готового продукта вместе с повышением экономической эффективности процесса, не теряет актуальность для современного промышленного производства. Однако она требует проведения большого количества повторений процесса стерилизации, а, следовательно, использования значительного количества ресурсов.

В общем случае процесс разработки режимов стерилизации пищевых продуктов состоит из шести этапов: предварительного подбора, лабораторного испытания, производственной проверки, оформления, согласования и представления на утверждение. Самым продолжительным и затратным является

первый этап, поскольку продолжительность дальнейших стадий зависит от выбора ориентировочного режима стерилизации. Сокращение затрат на этапе предварительного подбора позволит сэкономить значительное количество времени и средств разработчика, что является актуальным в рамках концепции бережливого производства. Упрощение данной процедуры возможно при наличии математической модели процесса, представляющей совокупность температурных моделей стерилизационной камеры автоклава и пищевого продукта.

В настоящее время наблюдается постоянное сокращение численности разработчиков режимов стерилизации пищевых продуктов, поэтому возникает необходимость в кратчайшие сроки разработать комплекс для научных исследований процессов стерилизации с целью изучения существующих и получения новых оптимальных по энергозатратам режимов стерилизации пищевых продуктов с заданной фактической летальностью.

Перечисленные выше проблемы определяют актуальность разработки и использования автоматизированной системы научных исследований (АСНИ) процессов стерилизации пищевых продуктов на этапе предварительного подбора, позволяющей повысить экономическую эффективность разрабатываемого режима при сохранении микробиологической безопасности и органолептических качеств готового продукта, а также осуществлять поддержку принятия решений инженером-технологом при разработке нового режима стерилизации для пищевого продукта.

Степень разработанности темы.

Проблемы разработки и научного обоснования технологий изготовления консервов исследовали Флауменбаум Б. Л., Бабарин В. П., Артюхова С. А., Квасницкая А. А., Капитанова А. В., Гуревич А. А., Голубев С. А., Филиппович В. П., Квасенков О. И., Богданов В. Д., Васильева Н. С. и др.

Научно-педагогические работники кафедр автоматике и технологий пищевых производств ФГАОУ ВО «МАУ» Гроховский В. А., Маслов А. А., Кайченев А. В., Куранова Л. К., Власов А. В. и другие более 10 лет проводят исследования, направленные на совершенствование стерилизации консервов.

Аналогичный подход к синтезу систем управления применен в научных работах Выскубова Е. В., Мокрушина С. А.

Вопросы поиска критериев для оптимизации параметров режимов стерилизации консервов рассматриваются в работах таких исследователей, как Холдсворт С. Д., Тейшейра А. А., Такер Г. С., Банга Дж. Р., Эрдогду Ф. и др.

Абакаров А., Маслов А. А., Кайченев А. В., Власов А. В., Жук А. А., Бородин А. В., Сендин Дж. О., Ариас-Мендес А., Эрдогду Ф. и другие использовали методы оптимизации процессов тепловой обработки пищевых продуктов внутри собственного программного обеспечения.

Многие ученые, в частности Абакаров А., Чен С. Р., Рамасвами Х. С., Дюранс Т. Д., Сипсон Р., Банга Дж. Р. и Норонья Дж., в своих исследованиях уделяют большое внимание процессам тепловой обработки продуктов при переменной температуре среды стерилизационной камеры автоклава.

Исследователями Благовещенской М. М., Благовещенским И. Г., Чен С. Р., Рамасвами Х. С. и другими было выявлено преимущество компьютерного моделирования с применением интеллектуальных технологий над традиционными методами оптимизации.

Цель и задачи исследования.

Целью диссертационной работы является исследование и научное обоснование разработки АСНИ для оптимизации затрат на разработку нового режима стерилизации. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Предложить способ совершенствования методики разработки режимов стерилизации на этапе предварительного подбора для промышленных автоклавов.
2. Разработать цифровой двойник автоклава.
3. Предложить новый способ управления процессом стерилизации пищевых продуктов.
4. Разработать АСНИ для процессов стерилизации пищевых продуктов и провести ее исследование.

Объект и предмет исследования.

Объектом исследования является процесс стерилизации пищевых продуктов по заданному режиму в промышленных автоклавах периодического действия.

Предмет исследования – оптимальный режим для управления процессом стерилизации пищевых продуктов в промышленных автоклавах периодического действия.

Методы и средства исследования.

Для проведения научных исследований процессов тепловой обработки используются лабораторный автоклав АВК-30М, промышленные автоклавы АСКАМАТ-230 и Н2-ИТА602, а также комплексы логгеров Ellab TrackSense PRO и ТЕРМОХРОН. Для поиска параметров, связанных с процессом стерилизации пищевых продуктов, применяются методы адаптивного симплекса, Брента и численного интегрирования Рунге-Кутты 4 порядка точности. В исследованиях используется программное обеспечение собственной разработки.

Научная новизна.

Предложена классификация температурных профилей греющей среды в стерилизационной камере для управления процессом стерилизации пищевых продуктов.

Предложена модернизированная экономичная методика разработки режимов стерилизации пищевых продуктов для промышленных автоклавов.

Предложен способ управления процессом стерилизации, основанный на прогнозировании фактического стерилизующего эффекта продукта.

Научно обосновано использование и разработка АСНИ для поиска оптимальных режимов стерилизации пищевых продуктов.

Практическая значимость исследования.

В рамках диссертационной работы создан программный комплекс, позволяющий повысить экономическую эффективность разрабатываемого режима тепловой обработки продуктов из гидробионтов при сохранении микробиологической безопасности и органолептических качеств готового продукта и оптимизировать рабочее время инженера-технолога при разработке

нового или совершенствовании существующего режима на этапе предварительного подбора.

Получены свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2017612613, № 2020665739, № 2021613099 и №2021613155 Российская Федерация.

Результаты научного исследования внедрены в производство на предприятиях группы компаний «ФЭСТ» (рыбопромышленный холдинг «Норebo»).

Для разработанного в рамках диссертационной работы способа управления процессом тепловой обработки консервов зарегистрирован патент на изобретение № RU2789344C1 от 01.02.2023 г.

Диссертация соответствует паспорту специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами в части пунктов 8, 11, 12 и 18.

Основные положения, выносимые на защиту.

Предложенный цифровой двойник промышленного автоклава позволяет реализовать экономичную методику разработки режимов стерилизации пищевых продуктов.

Разработанный программный комплекс является основой для проведения компьютерного моделирования процесса стерилизации консервов и оформления теплофизических данных для утверждения режима на этапе предварительного подбора.

Предложенное программное обеспечение автоматизированной системы управления автоклава позволяет сохранять информацию в базе данных при проведении процесса стерилизации пищевых продуктов, основанного на прогнозировании фактического стерилизующего эффекта.

Разработанная АСНИ применима для поиска режимов стерилизации пищевых продуктов как инструмент поддержки принятия решений.

Личный вклад автора.

Представленные результаты диссертационной работы являются итогом многолетних исследований, проведенных в 2014-2023 гг. лично автором и при его непосредственном участии.

Степень достоверности.

Достоверность полученных в работе результатов обеспечивается тщательной проработкой моделей исследуемых процессов, корректным применением методов аппроксимации, идентификации и теории оптимального управления, использованием апробированных расчетных методик, согласованием данных расчетов и экспериментов.

Апробация работы.

Основные результаты диссертации докладывались на всероссийских и международных научно-технических и научно-практических конференциях различного уровня.

Разработка и исследование программного комплекса выполнены в Мурманском арктическом университете в рамках научно-исследовательской работы «Исследование, разработка и совершенствование систем управления технологическими процессами» (ГР № 1.28/18).

Использование составляющих АСНИ позволило получить на этапе предварительного подбора оптимальные по фактическому стерилизующему эффекту режимы стерилизации консервов в банке №3 для промышленного автоклава, о чем имеются соответствующие акты о внедрении.

Диссертация обсуждена на расширенном заседании кафедры автоматике и вычислительной техники ФГАОУ ВО «Мурманский арктический университет».

Публикации.

По теме диссертации опубликовано 19 работ, в том числе 5 работ в рецензируемых научных периодических изданиях, рекомендованных ВАК РФ, и 5 работ, индексируемых в международной базе данных Scopus, получены 4 авторских свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ, 1 патент РФ на изобретение.

Структура и объем работы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений, списка литературы (106 источников, из которых 34 на иностранных языках) и 4 приложений. Работа изложена на 148 страницах, содержит 75 рисунков и 19 таблиц. В приложениях представлены акты о внедрении, результаты интеллектуальной деятельности, дополнительные сведения об установке управления промышленным автоклавом и руководство пользователя.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ПРОЦЕССА И НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ СТЕРИЛИЗАЦИИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

1.1 Основные сведения о процессе тепловой обработки

Процесс тепловой обработки (стерилизации или пастеризации) пищевых продуктов традиционно проводится на предприятиях согласно некоторому режиму, который представляет собой совокупность продолжительностей этапов нагрева, собственно процесса и охлаждения, температуры греющей среды и давления внутри стерилизационной камеры автоклава при стерилизации или пастеризации и охлаждении, а также нормативной летальности [2]. Инженеры-технологи представляют такой режим в виде следующей условной формы записи:

$$T_{\phi} \frac{\tau_{\text{п}} - \tau_{\text{с}} - \tau_{\text{ох}}}{T_{\text{ГС}}} P, F_{\text{н}}, \quad (1.1)$$

где T_{ϕ} – начальная температура продукта при герметизации банок, °С;

$\tau_{\text{п}}$ – продолжительность этапа нагрева до температуры процесса, мин.;

$\tau_{\text{с}}$ – продолжительность этапа собственно термической обработки, мин.;

$\tau_{\text{ох}}$ – продолжительность этапа охлаждения, мин.;

$T_{\text{ГС}}$ – температура греющей среды процесса, °С;

P – давление при процессе термической обработки, МПа;

$F_{\text{н}}$ – значение нормативной летальности, усл. мин.

Вначале пищевые продукты загружают в консервные банки, которые герметично укупоривают. После этого их погружают в предварительно прогретую стерилизационную камеру автоклава и плотно закрывают крышку автоклава. Далее повышают температуру и давление греющей среды (вода или пар) до определенных, заданных в режиме тепловой обработки, и поддерживают их постоянными заданный промежуток времени. После этого в течение всей продолжительности этапа охлаждения температуру и давление в стерилизационной камере автоклава плавно снижают до определенного уровня и по достижении его выгружают консервные банки с пищевым продуктом из аппарата.

Микробиологическая эффективность процесса тепловой обработки пищевого продукта определяется соотношением температуры и времени, при которых банка с продуктом находится в греющей среде стерилизационной камеры автоклава, и называется фактическим стерилизующим эффектом (F-эффектом). Иными словами, F-эффект – продолжительность условного процесса, при котором температура внутри банки с пищевым продуктом мгновенно поднимается от начальной до 121,1 градуса Цельсия, выдерживается на постоянном уровне в течении F условных минут, после чего опускается обратно [3].

Нормативный стерилизующий эффект F_H для возбудителей порчи рассчитывают по следующей формуле [4]:

$$F_H = D_T \left(\lg \frac{C_0 \cdot V \cdot 100}{S} + x \right), \quad (1.2)$$

где D_T – длительность нагрева при постоянной температуре, в течение которого число жизнеспособных спор уменьшается на порядок, мин.;

C_0 – начальная концентрация спор микроорганизма в 1 см³;

V – объем продукта в одной банке, см³;

x – поправочный коэффициент для аппроксимирования кривой выживаемости экспоненциальной;

S – допустимый бактериологический брак, %.

Поправочный коэффициент x при расчетах режимов стерилизации по термофильным бактериям (возбудители ботулизма) равен двум. Бактериологический брак S в опытной партии консервов не должен превышать 0,1 % [5].

Значение фактического стерилизующего эффекта научно обоснованного режима термической обработки всегда должно превосходить нормативную летальность, рассчитанную по (1.2) и представленную в (1.1), на величину, учитывающую возможные отклонения параметров процесса от заданного режима в меньшую сторону [2]. Это гарантирует, что количество опасных для потребителя микроорганизмов и оказывающих непосредственное влияние на сохранность продукта, не превышает установленных норм биологического брака S в партии готовой продукции [3].

1.2 Аналитический обзор состояния и тенденций научных исследований

Консервная продукция имеет давнюю историю и до сих пор остается популярной благодаря удобству использования, длительному сроку хранения и низкой стоимости производства. В то же время, технология изготовления консервов привлекает все больше внимания со стороны специалистов по термической обработке по причине необходимости улучшения показателей качества и безопасности готовой продукции, усовершенствования в области автоматизации режимов управления процессами.

Проблемы разработки и научного обоснования технологий изготовления консервов из гидробионтов всерьез заинтересовали исследователей и ученых во второй половине XX века.

В 60-х годах XX века Гуревич А. А., Молодецкий Э. Г., Флауменбаум Б. Л. запатентовали способ автоматического регулирования процесса стерилизации консервов с применением датчика импульсов по параметру температуры продукта в центре банки. Процесс стерилизации проводят до достижения заданного значения стерилизующего эффекта. С целью упрощения способа банку заполняют веществом-имитатором стерилизуемого продукта по теплопроводности и теплоемкости [6].

В 1970 году Титова А. А. и Флауменбаум Б. Л. запатентовали способ стерилизации консервов в жестяных банках путем обдувания воздухом, нагретым до температуры стерилизации, с последующим охлаждением водой. Перед этим консервы обрабатывают жидким высокотемпературным органическим теплоносителем с температурой, превышающую установленную температуру стерилизации на 10-20 градусов Цельсия [7].

В 1972 году Бабарин В. П., Лобченко И. М. и Фромзель О. Г. усовершенствовали устройство для автоматического определения фактической летальности режима стерилизации консервов. Для этого с целью повышения точности определения режима стерилизации в состав многоточечного потенциометра был введен дополнительный реохорд, и коммутатор для

осуществления контакта между дополнительным реохордом и входом схемы формирования напряжения [8].

Большой вклад в разработку и научное обоснование технологий изготовления консервов и полуконсервов из гидробионтов внесли Артюхова С. А., Квасницкая А. А., Капитанова А. В. и Мартынова Е. Т. [9], [10] (ФГБНУ «АтлантНИРО»), Голубев С. А. [11], [12] и другие.

В 1990 году Флауменбаум Б. Л. и Голубев С. А. опубликовали статью «Смягчение режимов тепловой обработки рыбных консервов путем тиндализации», в которой принцип тиндализации был применен для смягчения традиционных режимов стерилизации рыбных консервов с нежной консистенцией. Для этого процесс был разделен на две варки при температурах в диапазоне от 115 до 120 градусов Цельсия. Первая – кратковременная тепловая обработка, уничтожающая вегетативную микрофлору и создающая тепловой шок у спор. Вторая (после межварочной выдержки) – традиционная варка с сокращенной продолжительностью, необходимой для получения минимального уровня промышленной стерильности консервов. Полученный таким образом готовый продукт не требует особых условий хранения, как и традиционные консервы [13].

Научные исследования по совершенствованию способов тепловой обработки консервов из гидробионтов проводятся и в других регионах России.

В 2006 году исследователи Филиппович В. П., Бабарин В. П., Ломачинский С. В. и Квасенков О. И. зарегистрировали патент на изобретение «Способ контроля режима стерилизации консервов». Данный способ контроля режима стерилизации консервов предусматривает измерение начальной температуры стерилизуемого продукта и температуры стерилизующей среды, по значениям которых рассчитывают изменение температурного поля стерилизуемого продукта во времени. В каждой точке такого поля по уравнению Аррениуса рассчитывают фактическую летальность и среднеобъемную летальность, при достижении заданной фиксированной величины которой судят о завершении стерилизации консервов [14].

В 2010 году представители ФГБОУ ВО «Дальрыбвтуз» Богданов В. Д. и Васильева Н. С. зарегистрировали изобретение «Способ производства консервов из морепродуктов и рыбы». Способ включает в себя варку, порционирование, фасование, внесение заливки и герметизацию. Перед фасованием вносят овощи в определенном соотношении. Компоненты перемешивают и проводят термическую обработку при температуре 70-80 °С в течение 30-45 минут [15].

Научно-педагогические работники ФГАОУ ВО «МАУ» Гроховский В. А., Маслов А. А., Куранова Л. К., Кайченев А. В. и другие более 10 лет проводят активные научные исследования, направленные на совершенствование тепловой обработки консервов из гидробионтов.

В 2009 году Маслов А. А., Кайченев А. В. и Власов А. В. в статье «Исследование динамики теплообмена в стерилизационной камере автоклава» описали способ повышения эффективности процесса стерилизации при помощи оптимизации системы управления процессом. Представлены особенности синтеза математической модели для температурного поля греющей среды внутри стерилизационной установки АВК-30 по результатам активного эксперимента [16].

Полезная модель на стерилизационную установку АВК-30 была зарегистрирована теми же авторами в 2010 году [17]. Стерилизационная установка содержит:

- автоклав с герметичной крышкой;
- парогенератор;
- трубопроводы подвода и отвода рабочей среды;
- «экономайзер», соединенный с парогенератором и автоклавом;
- управляемые клапаны трубопроводов.

В 2011 году Гроховским В. А., Власовым А. В., Власовой А. Р., Кайченевым А. В. и Масловым А. А. был зарегистрирован патент на изобретение «Способ управления процессом стерилизации консервов, основанный на F-эффекте». Способ предусматривает непрерывное измерение температуры в наименее прогреваемой точке банки с продуктом для определения фактического

стерилизующего эффекта (F-эффекта) и сравнение его с заданным значением. В зависимости от этой разности осуществляется подача пара в стерилизационную камеру до достижения значения фактического эффекта равного 70-75 процентов от заданного [18].

Предложенный выше способ был внедрен в учебно-экспериментальном цехе ФГБОУ ВПО «МГТУ» и позволил сократить продолжительность процесса стерилизации по сравнению с традиционным режимом при сохранении промышленной стерильности готовых консервов. Подтверждение этого факта представлено в работах 2011-2012 гг. (диссертация Кайченова А. В. «Разработка и исследование модернизированного способа стерилизации консервов из гидробионтов» [3], публикации «Совершенствование способа стерилизации консервов из гидробионтов» [19] и «Оптимизация процесса стерилизации консервов в водной среде в автоклаве АВК-30М» [20]) в полученных оптимальных режимах стерилизации консервов из гидробионтов. Оптимизированный процесс стерилизации позволяет получить экономию электроэнергии до 20 процентов и сократить временные затраты на 9 процентов. Также в статьях был предложен перспективный подход к реализации систем управления процессом стерилизации – на основе математических моделей стерилизационной камеры и продукта.

Перспективный подход к синтезу систем управления процессом стерилизации, предложенный работниками ФГБОУ ВПО «МГТУ» в 2012 году, был успешно применен в научных работах и диссертационном исследовании Мокрушина С. А. (ФГБОУ ВО «ВятГУ», г. Киров).

В 2012-2013 годах в статьях «Управление процессами тепловой обработки пищевых продуктов» [21], «Обзорный анализ стерилизаторов консервов с целью их дальнейшей автоматизации» [22], «Исследование типовой конструкции автоклава с целью дальнейшей автоматизации процесса стерилизации» [23] и «Модель системы управления тепловыми процессами» [24] Мокрушин С. А. и соавторы рассмотрели проблемы автоматизации процесса стерилизации консервов в вертикальных автоклавах. Показано, что автоматизация автоклавов

периодического действия является сложной и востребованной задачей настоящего времени. Сделан вывод, что автоматический контроль и регулирование процесса стерилизации позволяют резко снизить брак, сократить время действия повышенной температуры внутри автоклава, снизить энергозатраты. Описан вариант создания системы подчиненного регулирования температуры на базе контроллера и методы ее настройки. Показано, что прогнозирование поведения системы, опирающееся на математическое моделирование, является одним из основных приемов при разработке систем управления тепловыми процессами.

В 2015 году Мокрушин С. А. совместно с другими авторами публикует статьи «Исследование процесса стерилизации консервной продукции с целью дальнейшей автоматизации» [25] и «Особенности построения системы управления процессом тепловой обработки пищевых продуктов в автоклавах» [26]. В статьях проведен анализ особенностей технологических процессов стерилизации консервов, описаны типовые исполнения устройств для стерилизации, предложена структура автоматизированной системы управления технологическим процессом стерилизации консервов в стерилизаторах периодического действия. Рассмотрены особенности реализации системы управления процессом стерилизации консервов в вертикальных автоклавах. Описаны различные варианты создания системы управления, предложен улучшенный вариант системы управления процессом тепловой обработки пищевых продуктов в автоклавах на основе современных методов регулирования технологических параметров.

В результате дальнейшей работы, в 2016 году была зарегистрирована программа «Управление процессом стерилизации консервов в автоклаве» [27], а в 2019 году Мокрушиным С. А. успешно защищена диссертация «Разработка автоматизированной системы управления технологическим процессом стерилизации консервов в промышленном автоклаве». В рамках диссертационной работы были получены математическая модель процесса стерилизации консервов в промышленном автоклаве, организованная по блочному принципу, и структура

системы автоматического управления технологическим процессом стерилизации консервов, реализующая современные законы автоматического управления [28].

В последние десятилетия XX века многие ученые и исследователи заинтересовались поиском критериев для оптимизации параметров режимов стерилизации консервов [20], [29], [30] и [31].

В 1985 году Холдсворт С. Д. [32] обобщил известные на тот момент критерии для оптимизации процесса тепловой обработки продуктов. Это были следующие параметры:

- значение F-эффекта, вычисленное по формуле Болла (1957 год);
- значение микробиологической инаktivации микроорганизмов;
- значение F-эффекта в пересчете на 100 °С, вычисленное по формуле Мансфилда (1962 год).

Различные исследователи собирали таблицы, комбинирующие значения этих величин. На их основе определялся уровень фактической летальности, а также параметры процесса для того или иного продукта. Также Холдсвортом были описаны некоторые численные методы оптимизации с использованием компьютера. Однако, аппаратные и программные средства того времени позволяли получать лишь значения для построения табличных зависимостей.

В 1989 году Тейшейра А. А. [33] описал преимущества использования компьютерных моделей, основанных на теплопроводности консервируемых продуктов. Во-первых, они могут использоваться для прогнозирования температуры продукта внутри банки для любого набора условий тепловой обработки и геометрических размеров, исключая необходимость проведения повторных варок в лабораторной установке. Во-вторых, независимо от изменений температуры внутри стерилизационной камеры автоклава, модель будет прогнозировать температуру продукта в центре банки и рассчитывать фактическое значение стерилизующего эффекта для сравнения с целевым значением. Также в статье было рассмотрено будущее применения таких моделей в приложениях для оптимизации и компьютерного управления процессами.

В 1997 году Тейшейра А. А. и Такер Г. С. [34] рассмотрели актуальные для того времени технологии в области создания интеллектуальных компьютерных систем управления реального времени для процессов тепловой обработки консервов. Были описаны преимущества и недостатки прямого (основанного на накоплении с использованием систем сбора данных с датчиков температуры внутри банки с продуктом) и косвенного (основанного на использовании поправочных коэффициентов и математических моделей, способных моделировать теплопередачу в консервах при различных условиях) подходов к управлению автоклавом в режиме реального времени. Был сделан вывод, что подход с использованием математических моделей теплопередачи является перспективным.

В 2003 году испанский исследователь Дж. Р. Банга опубликовал статью «Improving food processing using modern optimization methods» [35] («Совершенствование пищевой обработки с использованием современных методов оптимизации»). Она является отправной точкой для начинающего исследователя в области оптимизации пищевой обработки продуктов. В статье описаны методы и модели, используемые в пищевой промышленности, также рассмотрены препятствия для внедрения повсеместной оптимизации, моделирования процессов и способы их преодоления. В конце статьи рассмотрены направления будущих исследований и то, что необходимо ученым для проведения данных исследований.

В 2008 году в книге «Optimization in Food Engineering» [36] («Оптимизация в пищевой инженерии») Ф. Эрдогду представил подробное описание методов оптимизации процессов обработки продуктов, существующих на тот момент в пищевой промышленности. Например, исследователь Симпсон использовал критерии по значению содержания тиамин для оптимизации режима стерилизации.

Большинство исследователей в последнее время используют различные методы оптимизации процессов стерилизации или пастеризации пищевых продуктов внутри собственного программного обеспечения. Такой подход дает

возможность разрабатывать новые режимы стерилизации практически без проведения реального процесса.

В 2010 году Сендин в своем исследовании «Эффективная и надежная многоцелевая оптимизация обработки пищевых продуктов: новый подход с применением к термической стерилизации» [37] использует гибридный метод, который состоит из метода нормального пересечения границ Даса и Денниса и взвешенного метода Чебышева. Автор проиллюстрировал преимущества своего метода перед другими предложенными стратегиями.

Ариас-Мендес А. и его коллеги в исследовании «Оптимальное принятие решений в режиме онлайн для термических процессов пищевых продуктов» [38] использовали программное обеспечение AMIGO. В результате авторы разработали архитектуру оптимизации в режиме реального времени для управления термической стерилизацией упакованных пищевых продуктов в ретортах, чтобы максимально сохранить питательные вещества при соблюдении ограничений, связанных с безопасностью.

Наиболее функциональные и популярные программы при решении реальных задач по тепловой обработке пищевых продуктов – программа «OPT-PROx», созданная испанскими исследователями во главе с Абакаровым А., и программа PRSC («Подбор режима стерилизации консервов»), созданная сотрудниками кафедры автоматике и вычислительной техники.

В 2009 году Абакаров А. в исследовании «Оптимизация тепловой обработки с помощью модифицированного адаптивного случайного поиска» использует модифицированный метод адаптивного случайного поиска. Этот алгоритм показал преимущества в реальных задачах термической обработки пищевых продуктов по сравнению с традиционно используемыми процессами с постоянной температурой с точки зрения общего времени обработки и качества конечного продукта перед предыдущими методами случайного поиска, Результаты данного исследования применены в программном обеспечении «OPT-PROx».

Программа «OPT-PROx» создана в интегрированной среде программирования «Vorland C++ Builder» [30], [39]. Данная программа использует

глобальные методы оптимизации и переменные режимы термической обработки для оптимизации процесса термической обработки продуктов. Для решения поставленных задач используется алгоритм адаптивного случайного поиска совместно с функциями коррекции и метод конечных разностей вместе с аппроксимацией сплайном третьего порядка [40].

Программное обеспечение PRSC разработано сотрудниками кафедры АиВТ в среде программирования «Lazarus IDE» [30], [41], [42], [43]. Данная программа производит математическое моделирование режима стерилизации пищевого продукта, вычисляет значения и позволяет подобрать оптимальный по критериям фактической летальности и энергозатрат на процесс режим стерилизации консервов для определенных видов продукции и стерилизационного оборудования с помощью симплекс-метода [44].

В 2012 году А. В. Бородиным была представлена программа для автоматизированного расчета термограмм стерилизации под конкретный вид мясных изделий, основанная на математическом моделировании процессов термообработки [45].

В 2017 году Ферру Эрдогду и соавторы в обзорной статье рассмотрели вопрос целесообразности и необходимости использования виртуализации в процессе производства пищевых продуктов, представили различные подходы к моделированию. Был сделан вывод о том, что виртуализация и математическое моделирование с их обширными возможностями уже сегодня «навязывают» основные требования к разработке, оптимизации и инновациям в технологии производства пищевых продуктов. В будущем они станут основными факторами, имеющими первостепенное значение для области инженерного обеспечения пищевой промышленности [46].

Многие ученые в своих исследованиях уделяют большое внимание процессам тепловой обработки продуктов при переменной температуре среды стерилизационной камеры автоклава (переменный режим) как перспективному способу. Она сможет 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.

В качестве альтернативы традиционным режимам тепловой обработки переменный режим был впервые предложен в работах исследователей тепловых процессов во второй половине XX века. Первые исследователи сконцентрировались на вопросе сохранения среднеобъемного содержания нутриентов. Полученные результаты показали, улучшение сохранения среднеобъемного качества продукта [47], [48].

С 1990-х годов исследователи тепловых процессов получили новые преимущества применения переменных режимов в области снижения энергозатрат, продолжительности процесса и теплового воздействия на поверхность продукта [49], [50], [51]. Дюранс был тем исследователем, кто проверил такой режим на реальном автоклаве. Было показано, что они позволяют производить продукты с качеством, эквивалентным значению F-эффекта для традиционного режима. Тем самым, как считал исследователь, была открыта возможность разработки и использования переменной температуры среды автоклава на коммерческих предприятиях.

В 2020 году в статье [52] 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. В статье авторы пришли к выводу, что применение ВРТО рентабельно на реальном заводе.

К началу XXI века, исследователям стало ясно, что ключом к разработке режимов стерилизации является решение задачи многофакторной оптимизации – выбор оптимального температурного профиля для каждой комбинации пищевого продукта и консервной тары. Выбор необходимой зависимости температуры от

времени – сложная задача для выполнения обычными методами оптимизации, которые требуют много времени и не подходят для получения быстрых решений. Авторами статей [47], [53] и [54] было обнаружено, что эффективное компьютерное моделирование с использованием интеллектуальных технологий дает преимущество над традиционными методами оптимизации.

1.3 Критический анализ литературы

В настоящее время большинство производственных предприятий по-прежнему применяют традиционные режимы [55].

Внедрение ступенчатых режимов ограничивается тем, что с ростом температуры повышаются требования к точности регулирования и увеличивается количество параметров режима, что существенно усложняет процесс его разработки.

Главным недостатком «модернизированного» режима стерилизации консервов (патент на изобретение RU2471387C1) является необходимость расположения датчика температуры внутри банки с продуктом для расчета F-эффекта в режиме реального времени, который используется в качестве регулируемого параметра. Это снижает надежность системы, повышает ее стоимость и увеличивает производственные затраты. Также, этап охлаждения процесса термообработки начинается только по достижении 70-75 процентов от заданной величины F-эффекта.

Существует способ, основанный на проведении процесса тепловой обработки продуктов при переменной (изменяемой во времени) температуре среды автоклава, который называют вариабельным режимом [56]. Исследователи в начале XX века считали, что была открыта возможность разработки и использования вариабельных режимов на коммерческих предприятиях. При этом в большинстве исследований не было описано их применение на реальных процессах в автоклавах. Проблема внедрения вариабельных режимов на производственных автоклавах остается актуальной до сих пор.

На настоящий момент применение переменных режимов на промышленных предприятиях не востребовано поскольку нет значительного повышения качества при их использовании по сравнению с традиционными применяемыми режимами. Также такой подход не получил применения инженерами-технологами из-за отсутствия:

- системы автоматического управления со специально разработанным регулятором, позволяющим реализовать переменный режим;
- достаточного научного обоснования таких режимов и исследований их условной формы записи;
- отсутствия проработанной методологии разработки переменных режимов в сжатые сроки на производственном предприятии;

Разрешение ограничений применения переменных режимов позволит более эффективно решать задачи оптимизации процесса термической обработки продуктов.

Самым продолжительным и затратным этапом разработки режима тепловой обработки пищевых продуктов является предварительный подбор. От правильного выбора ориентировочных параметров условной формы записи (1.1) зависит продолжительность дальнейших стадий процесса разработки режима стерилизации [57].

Основными недостатками традиционного способа предварительного подбора режима тепловой обработки продуктов являются высокие временные и материальные затраты на проведение всего этапа. Поэтому главной задачей оптимизации этапа предварительного подбора режима является снижение затрат на проведение процесса, которое позволит сэкономить достаточное количество времени и средств разработчика режимов на пищевом производстве [43].

Проанализировав существующий способ разработки параметров режима тепловой обработки продуктов, можно выделить следующие направления его совершенствования:

- подбор традиционного режима тепловой обработки продуктов непосредственно по желаемому F-эффекту на основе базы данных для других

продуктов и с учетом ограничений по нагреву и охлаждению по модели автоклава;

- подбор режимов тепловой обработки продуктов без четких границ по этапам нагрева, собственно процесса и охлаждения с последующей реализацией алгоритмов управления ими на реальном стерилизационном оборудовании.

Для исследователей важной задачей является нахождение оптимальных температурно-временных режимов тепловой стерилизации, снижающих энергозатраты и продолжительность процесса стерилизации. На сегодняшний день одним из рациональных способов их поиска является численное моделирование тепловых процессов, с использованием которого возможно:

- значительно сократить продолжительность разработки новых режимов стерилизации продуктов;
- улучшить показатели качества готовой консервной продукции;
- ускорить ввод в действие новых стерилизационных установок, обладающих большей энергоэффективностью;
- уменьшить продолжительность процесса стерилизации и снизить энергозатраты при сохранении требуемого значения фактического стерилизующего эффекта.

Однако, количество программ, эффективность которых была доказана при решении реальных задач по тепловой обработке пищевых продуктов, невелико. Например, программы OPT-PROx и PRSC («Подбор режима стерилизации консервов»).

Основными недостатками программ OPT-PROx и PRSC являются следующие:

- невозможность прямого использования файла с температурными данными, снятыми с логгеров, каждый файл необходимо вручную преобразовать к формату, используемому в программе;
- отсутствие возможности моделирования всех видов режимов стерилизации и подсчет расходуемой электроэнергии в процессе проведения процесса по заданному режиму;

– невозможность формирования какой-либо документации по теплофизическим исследованиям на основе полученных моделей и режимов стерилизации консервов;

– отсутствие системы «все в одном», когда необходимо отдельно подготовить файл, подобрать модель процесса, а затем воспользоваться готовой программой.

Анализ обзора литературы показал, что на нынешнем этапе развития процессов стерилизации консервов использование математического моделирования является экономически выгодной и актуальной задачей для инженерного обеспечения в пищевой промышленности. Был выявлен вектор развития в направлении разработки специального программного комплекса, который должен позволить получать адекватные температурные модели процесса стерилизации с последующим их использованием при оптимизации параметров режима стерилизации в автоматическом режиме по заданным критериям качества или фактической летальности готовой продукции.

Поэтому возникает необходимость в разработке такого комплекса для одновременного подбора модели процесса и параметров режима тепловой обработки на этапе предварительного подбора в автоматическом режиме. Разрабатываемый программный комплекс должен выполнять следующие основные функции:

– автоматически дифференцировать профили автоклава и банок с продуктом по данным из файла с температурными данными;

– осуществлять подбор единой температурной модели продукта (коэффициентов передаточной функции) в банке для всего процесса термической обработки из экспериментальных данных;

– осуществлять подбор отдельной температурной модели продукта (коэффициентов передаточной функции) в банке для этапов нагрева и собственно термической обработки (стерилизации или пастеризации), а также для этапа охлаждения;

- моделировать процесс термической обработки для экспериментальных данных о профиле температуры автоклава;
- рассчитывать энергозатраты для процесса термической обработки с учетом профиля температуры в стерилизационной камере автоклава;
- проводить экспериментальную проверку полученных моделей при разработке реального режима термической обработки продуктов из гидробионтов;
- создавать в автоматическом режиме документацию по теплофизическому исследованию подобранного режима по пяти пробным автоклавоваркам (с учетом реальных и моделируемых процессов).

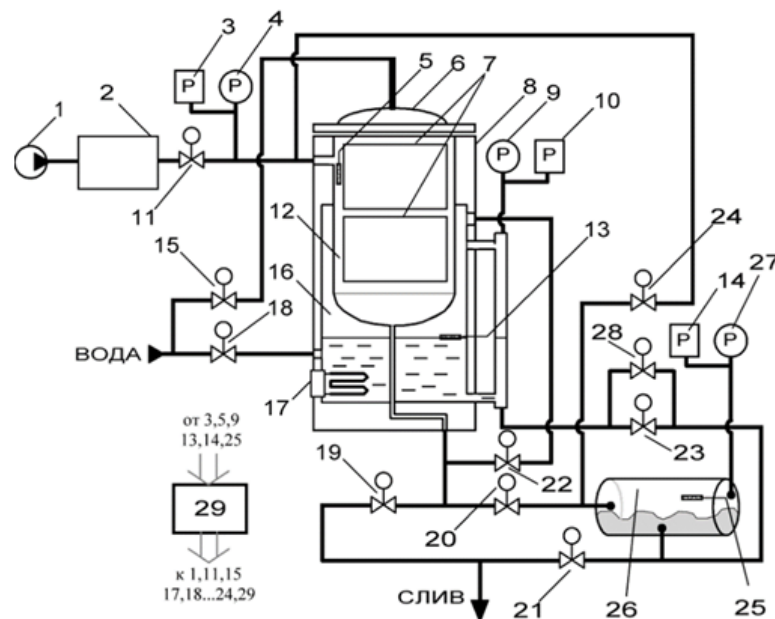
Проанализировав ранее представленные аспекты научных исследований процессов стерилизации пищевых продуктов, можно сделать вывод о наличии большого количества запатентованных разработок, связанных с аппаратным и программным обеспечением процесса стерилизации пищевых продуктов, и разработанных и утвержденных режимов стерилизации консервов для промышленных автоклавов. Все это предопределяет актуальность разработки автоматизированной системы научных исследований (АСНИ) для процессов стерилизации пищевых продуктов в рамках комплексной автоматизации научных исследований. Однако, для реализации этой цели отсутствуют некоторые компоненты АСНИ и проведенные исследования:

- доступная база данных, содержащая информацию о типоразмерах автоклавов, параметрах режима стерилизации под конкретный пищевой продукт и т. д.;
- база знаний утвержденных режимов стерилизации;
- не изучено влияние параметров режима стерилизации пищевых продуктов на значение фактического стерилизующего эффекта;
- научно обоснованное эффективное управление или модель оптимальных действий оператора;
- современные методики по разработке режимов стерилизации;
- полноценный программный комплекс для использования математических моделей процесса.

1.4 Описание объектов, методов и средств исследования

Для проведения научных исследований процессов тепловой обработки продуктов из гидробионтов используются следующие объекты исследования: автоклавы АВК-30М, АСКАМАТ-230 и Н2-ИТА602.

Лабораторный автоклав малого объема АВК-30М (рисунок 1.1) создан на базе медицинского стерилизатора ВК-30 [58], который был переоборудован техническими средствами российского производителя промышленной автоматизации «ОВЕН» (ПЛК-154, СП270, МВА-8 и МДВВ), на основе которых, на кафедре АиВТ, разработана и собрана система управления автоклавом (рисунок 1.2). Система получает задание от оператора путем ввода значений и команд через СП270, данные от датчиков температуры и давления и формирует управляющий сигнал для трубчатых электронагревателей и электромагнитных клапанов компании «Данфосс» (Дания) [59].



1 - компрессор; 2 - воздушный ресивер; 3, 10, 14 - датчики избыточного давления; 4, 9, 27 - манометры; 5 - датчик температуры в стерилизационной камере; 6 - крышка стерилизационной камеры; 7 - клетки с банками; 8 - рубашка автоклава; 11 - клапан подачи воздуха; 12 - стерилизационная камера; 13 - датчик температуры в парогенераторе; 15 - клапан подачи охлаждающей воды в стерилизационную камеру; 16 - водопаровая камера (парогенератор); 17 - трубчатые электронагреватели; 18 - клапан подачи воды в парогенератор; 19 - клапан слива из стерилизационной камеры; 20 - слива из стерилизационной камеры в экономайзер; 21 - клапан слива экономайзера; 22 - клапан подачи пара; 23 - клапан слива из парогенератора в экономайзер; 24 - спускной клапан; 25 - датчик температуры в экономайзере; 26 - экономайзер; 28 - клапан слива из экономайзера в парогенератор; 29 - система управления

Рисунок 1.1 – Лабораторный автоклав АВК-30М

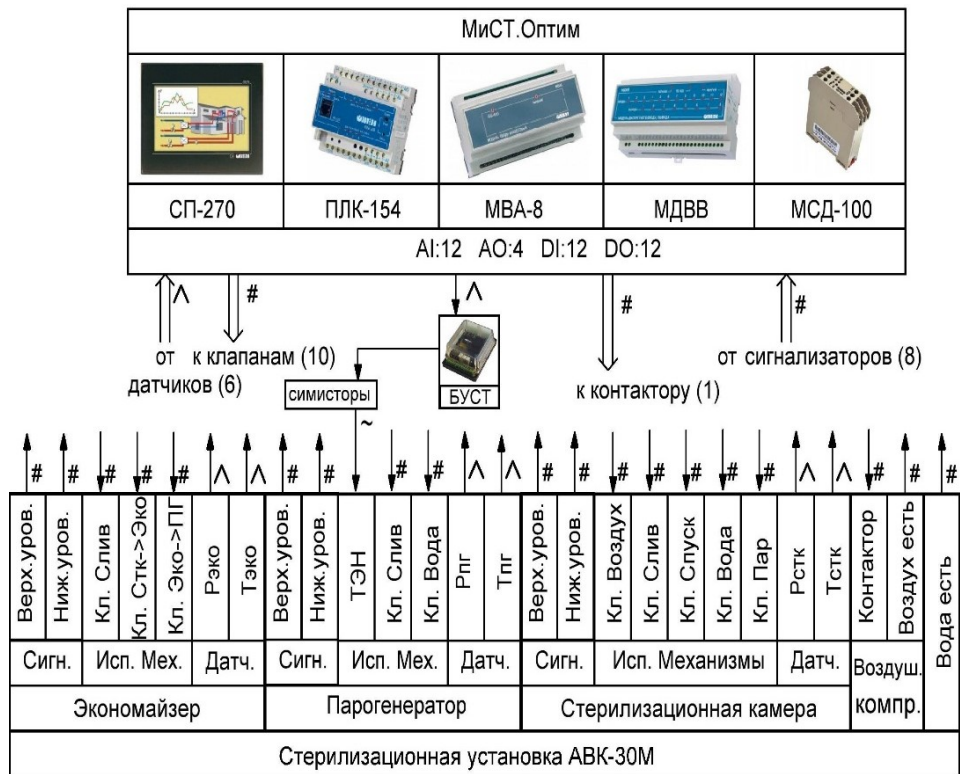


Рисунок 1.2 – САУ процессом стерилизации в автоклаве АВК-30М

Автоклав АСКМАТ-230 (рисунок 1.3) произведен фирмой ASCA в Германии и представляет собой промышленный вертикальный пищевой автоклав периодического действия, емкостью 230 литров, с электрическим нагревом [59], [60]. Температурное поле автоклава является равномерным и однородным, за исключением этапов нагрева и охлаждения водой [61].

Основные технические характеристики автоклавов АВК-30М и АСКМАТ-230 представлены в таблице 1.1.

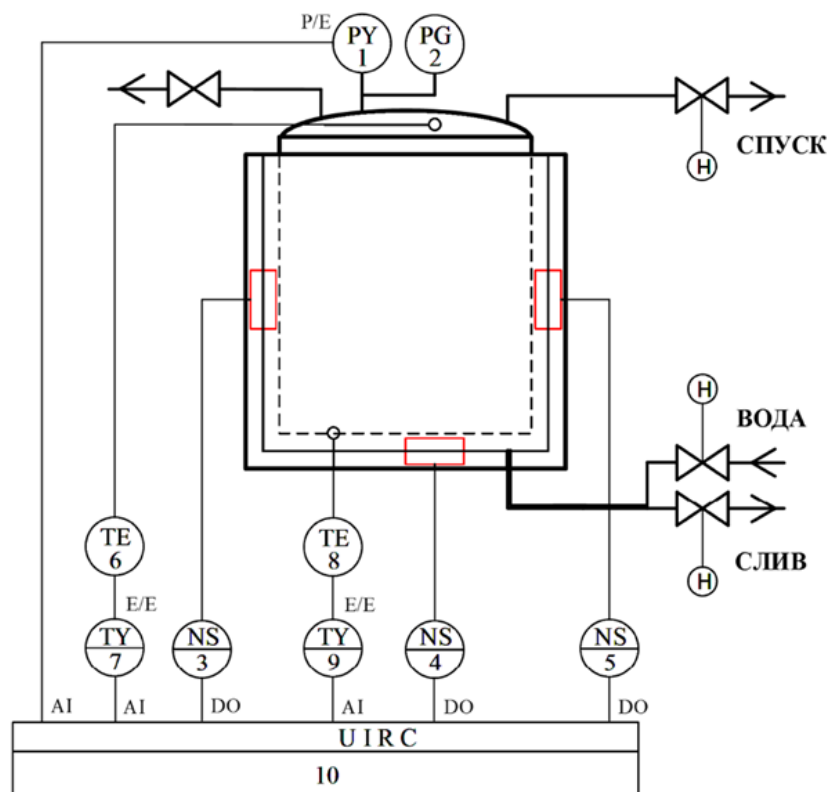
Таблица 1.1 – Основные технические характеристики автоклавов

Характеристика	АВК-30М	АСКАМАТ-230
Объем стерилизационной камеры, л	30	230
Габаритные размеры (ДхШхВ), мм	500х700х920	960х860х960
Масса автоклава, кг	115	285
Электрическая мощность, кВт	9	18
Максимальное рабочее давление, не более, МПа	0,22	0,25
Площадь поверхности, м ²	0,5	2,0
Толщина теплоизоляции, м	0,05	0,03
Толщина стенки автоклава, м	0,002	0,003



Рисунок 1.3 – Промышленный автоклав АСКМАТ-230

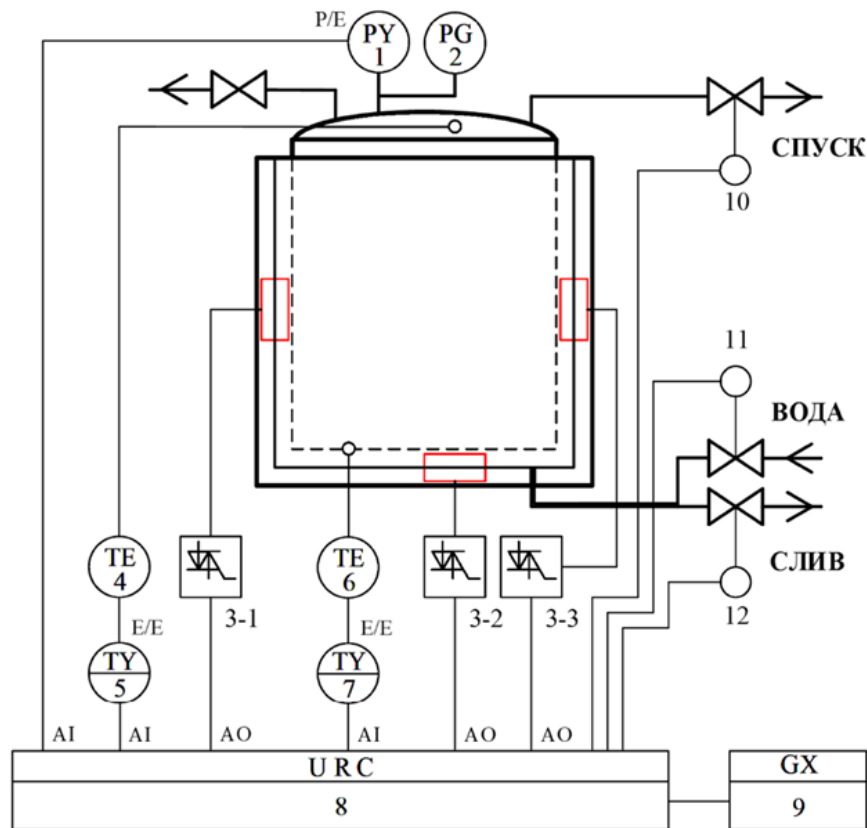
Автоклав АСКМАТ-230 оборудован штатной системой управления (рисунок 1.4), которая состоит из микропроцессорного регулятора MRA 590, двух датчиков температуры, датчика давления и набора контакторов, которые подают питание на электронагреватели.



1 – датчик давления; 2 – манометр; 3-5 – контакторы нагревателей;
6, 8 – преобразователи температуры; 7, 9 – нормирующие преобразователи; 10 – микропроцессорный регулятор

Рисунок 1.4 – Штатная система управления автоклавом АСКМАТ-230

В 2017 году сотрудниками кафедры АиВТ существующая система управления автоклавом АСКАМАТ-230 была модернизирована для проведения исследований в области тепловой обработки консервов [62]. Модернизированная система управления (рисунок 1.5) создана на основе ПЛК-154 и блока управления симисторами российского производителя промышленной автоматизации «ОВЕН», а также электромагнитных клапанов компании «Данфосс» (Дания).



1 – датчик давления; 2 – манометр; 3 – симисторный блок;
4-7 – преобразователи температуры; 8 – контроллер ОВЕН ПЛК-154;
9 – компьютер; 10-12 – электромеханические клапаны

Рисунок 1.5 – Модернизированная система управления АСКАМАТ-230

Автоклав Н2-ИТА602 (рисунок 1.6) – вертикальный малогабаритный паровой автоклав корзиночного типа, используемый на рыбоперерабатывающих судах, выпускавшийся Кандалакшским механическим заводом [63].



Рисунок 1.6 – Промышленный автоклав H2-ИТА602

Корпус автоклава представляет собой цилиндрический сосуд с крышкой, соединенной с ним через поясной затвор. В корпус вварены трубки для подвода пара, воды, воздуха, верхнего и нижнего слива, на крышке установлены пробно-спускной кран и предохранительный клапан. Автоклав H2-ИТА602 поставлялся без системы автоматического управления, поэтому стерилизация пищевых продуктов в нем проводится в ручном режиме.

Основные технические характеристики автоклава H2-ИТА602 представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Основные характеристики автоклава H2-ИТА602

Характеристика	H2-ИТА602
Полезный объем камеры, л	250
Рабочая среда	Пар, вода, воздух
Габаритные размеры (ДхШхВ), мм	1204x1007x1360
Масса автоклава, кг	420
Температура среды, не более, °С	120
Рабочее давление, не более, МПа	0,3

Комплексы логгеров Ellab TrackSense PRO и Thermochron iButton (ТЕРМОХРОН) серии DS1922 (рисунок 1.7) научно-технической лаборатории «Электронные инструменты» – наборы логгеров, позволяющих регистрировать температуру и сохранять ее в память устройства для последующего считывания и обработки.



Рисунок 1.7 – Логгеры температуры Ellab и Thermochron iButton

Данный набор логгеров позволяет исследовать температуру в наименее прогреваемой области банки и непосредственно в стерилизационной камере автоклава. После проведения процесса стерилизации по выбранному режиму рассчитывается фактическая летальность, используя значения временной зависимости температуры продукта внутри банки. Тем самым можно оценить степень пригодности консервов к употреблению и длительному хранению [64].

Для подбора параметров процесса стерилизации применяется метод адаптивного симплекса.

На первом шаге оптимизации строят симплекс по заранее известным координатам (значения первого опыта). Далее выбирают точку симплекса, в которой получается наихудший результат эксперимента. Затем координаты этой точки зеркально отражаются относительно противоположной грани симплекса. Наихудшую точку заменяют полученной и получают новый симплекс, направленный в сторону улучшения результата оптимизации. Эксперимент проводят в полученной новой точке и снова сравнивают результат с другими точками симплекса. Так происходит перемещение симплекса по поверхности

отклика или кантование. Процесс повторяют до тех пор, пока не достигнут области оптимума, где поступательное движение симплекса прекращается и происходит заикливание (вращение симплекса) вокруг одной из вершин. Значение параметров конечного симплекса в области оптимума сохраняются для последующих вычислений. Тем самым обеспечивается накопление информации о начальных параметрах для объекта оптимизации при следующем применении симплекс-метода [29].

Метод золотого сечения представляет собой способ оптимизации, который сходится за гарантированное число итераций, но обладает линейной скоростью сходимости. Метод парабол работает быстрее в малой окрестности оптимального решения, но может работать долго и неустойчиво на начальных стадиях процесса. Поэтому на практике (в стандартном пакете оптимизации Matlab) для одномерной оптимизации используется метод Брента [65], который комбинирует эти две стратегии.

Метод Брента на каждом конкретном этапе отслеживает шесть точек a , b , u , v , w и x , определяемых следующим образом: интервал поиска значений между a и b ; x – точка с наименьшим найденным значением функции; w – точка со вторым снизу наименьшим найденным значением функции; v – это предыдущее значение w , а u – точка, в которой функция рассчитывалась в последний раз.

Минимум аппроксимирующей параболы u принимается в качестве следующей точки оптимизационного процесса, если:

- u попадает внутрь интервала между a и b ;
- u отстоит от точки x не более, чем на половину от длины предпредыдущего шага.

Если точка u отвергается, то следующая точка находится с помощью золотого сечения большего из интервалов $[a, x]$ и $[x, b]$.

Расчет каждой модели процесса с новыми коэффициентами или параметрами режима стерилизации осуществляется с помощью классического метода численного интегрирования Рунге-Кутты 4 порядка точности.

Фактический стерилизующий эффект вычисляется из временной зависимости изменения температуры в наименее прогреваемой области продукта по методу Бигеллоу-Болла-Флауменбаума. Данный метод, разработанный в начале 20 века, был усовершенствован Б. Л. Флауменбаумом и до сегодняшнего дня применяется для определения фактической летальности [66].

Программное обеспечение ProcessF [67] (свидетельство №2017612613 от 01.03.2017 г.) предназначено для быстрого расчета фактического летального эффекта процесса термообработки по данным о температурной динамике пищевого продукта и сохранения данных о процессе в табличном виде (рисунок 1.8) [68].

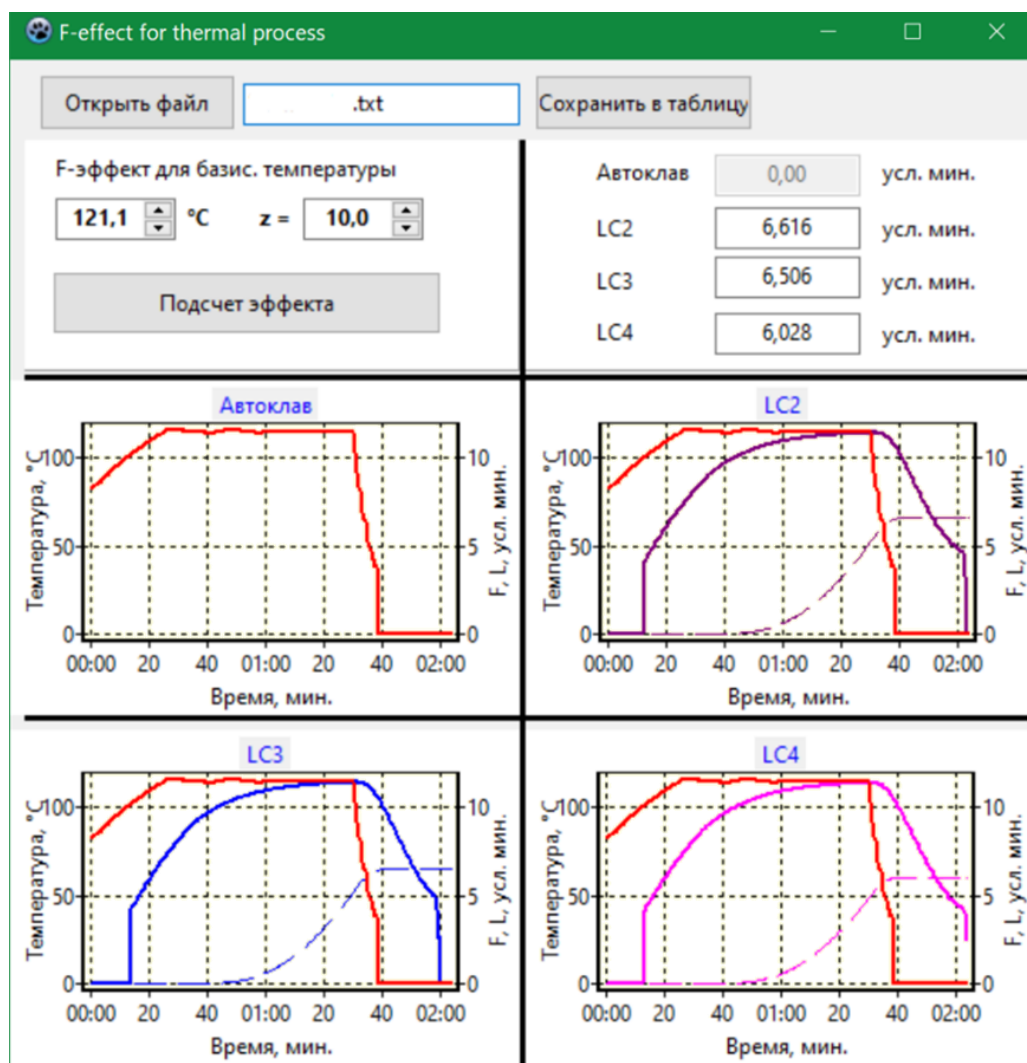


Рисунок 1.8 – Внешний вид окна программы ProcessF

Подбор температурной модели процесса, происходящего в геометрическом центре банки с продуктом, осуществляется в программном обеспечении

«Modeller» [69] («Thermal Processing Modeller», ТРМ), которое было разработано сотрудниками кафедры АиВТ МАУ (свидетельство №2017612613 от 01.03.2017 г.).

Для начала работы с программой ТРМ необходимо загрузить файл значений с логгеров температуры. Далее выбрать необходимый температурный профиль продукта, вид и порядок коэффициентов тепловой модели продукта. Затем необходимо выбрать кнопку «Идентификация модели» и сохранить полученную модель продукта и режим стерилизации в файлы для программы PRSC [30].

Математическое моделирование при разработке режимов стерилизации производится в программном продукте «Подбор режима стерилизации консервов» (PRSC). Результаты моделирования процесса стерилизации могут быть представлены в графическом или табличном вариантах. В левой нижней части основного окна программы пользователю всегда доступны результаты расчета F-эффекта (усл. минут), времени процесса (минуты) и энергозатрат на процесс (кВт·ч) для заданного режима стерилизации. Изменяя временной интервал этапов нагрева, собственно стерилизации или охлаждения можно получить необходимый режим стерилизации с заданным для продукта нормативным стерилизующим эффектом. Данная программа позволила находить оптимальные параметры режима стерилизации консервов с помощью метода симплекса [43].

Программное обеспечение ThermoPhysics [70] (свидетельство №2021613099 от 02.03.2021 г.) предназначено для создания текстового документа об изменении температур продукта и греющей среды автоклава в процессе стерилизации, необходимого для утверждения предварительно подобранного режима (рисунок 1.9).

Создание файла теплофизических данных

Наименование консервов: Печень трески по-мурмански

Номер банки: 3 Масса банки с продуктом, граммы: 230

Автоклав: АВК-30М Давление стерилизации, МПа: 0,14

вода пар Шаг по времени, мин.: 5,00

Этапы режима обработки, мин.: 20,00 — 20,00 — 60,00 — 20,00

Нормативный эффект, усл.мин.: 5,0 Z: 10

Макс. остыв. (вода), °C/мин: 20,0 Макс. остыв. (пар), °C/мин: 20,0

Температура стерилизации продукта, °C: 120

Начальная температура продукта, °C: 2 — 5

Температура автоклава начальная, °C: 60,0

Температура автоклава конечная, °C: 45,0

Исполнители	
Должность	ФИО
Зав. кафедрой ТПП МГТУ	Гроховский В. А.
Зав. лабораторией консерв.	Куранова Л. К.

Опыт 1 Опыт 2 Опыт 3 Опыт 4 Опыт 5

Выбор модели продукта Добавить из файла

$W1(p) = \frac{1,000}{50000,0 * p^2 + 1800,0 * p + 1}$

$W2(p) = \frac{1,000}{50000,0 * p^2 + 2000,0 * p + 1}$

$W3(p) = \frac{1,000}{50000,0 * p^2 + 2200,0 * p + 1}$

Профиль автоклава

По режиму для теплофизики

Из эксперимента Выбрать

Создать файл

Рисунок 1.9 – Внешний вид окна программы ThermoPhysics

1.5 Постановка цели и задач исследования. Программно-целевая модель исследований

Цель исследования – научно обосновать разработку АСНИ для оптимизации затрат на разработку нового режима стерилизации и исследовать ее.

Для достижения цели исследования необходимо решить следующие задачи:

- предложить способ совершенствования методики разработки режимов стерилизации на этапе предварительного подбора для промышленных автоклавов.
- разработать цифровой двойник автоклава.
- предложить новый способ управления процессом стерилизации пищевых продуктов.

– разработать АСНИ для процессов стерилизации пищевых продуктов и провести ее исследование.

Подробная программно-целевая модель исследований представлена на рисунке 1.10.



Рисунок 1.10 – Программно-целевая модель исследований

Выводы по главе 1

1. Технология изготовления консервов привлекает все больше внимания со стороны специалистов по термической обработке по причине необходимости улучшения показателей качества и безопасности готовой продукции, усовершенствования в области автоматизации режимов управления процессами. Однако, большинство производственных предприятий по-прежнему применяют традиционные режимы стерилизации по причине высоких временных и материальных затрат на проведение разработки режимов тепловой обработки пищевых продуктов по существующей методике.

2. На сегодняшний день одним из рациональных способов поиска оптимальных температурно-временных режимов стерилизации пищевых продуктов, снижающих энергозатраты и продолжительность проведения процесса, является их численное моделирование. Однако, количество программ, эффективность которых была доказана при решении реальных задач по тепловой обработке пищевых продуктов, невелико.

3. Выявлен вектор развития в направлении разработки специального программного комплекса, который должен позволить получать адекватные температурные модели процесса стерилизации с последующим их использованием при оптимизации параметров режима стерилизации в автоматическом режиме по заданным критериям качества или фактической летальности готовой продукции.

4. Проанализировав научные исследования, можно сделать вывод о наличии большого количества наработок, связанных с процессом стерилизации пищевых продуктов для промышленных автоклавов. Все это предопределяет актуальность разработки автоматизированной системы научных исследований для процессов стерилизации пищевых продуктов в рамках комплексной автоматизации научных исследований.

ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СТЕРИЛИЗАЦИИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

Исследование параметров процессов стерилизации пищевых продуктов проводится не только с использованием реальных проведенных автоклавоварок, но и через их моделирование в описанных средствах исследования, при этом учитывается достижение в каждом процессе нормативного стерилизующего эффекта.

2.1 Описание исследуемых процессов

Для получения адекватных данных при проведении численного математического моделирования за основу были выбраны два реальных температурных профиля режимов термической обработки – процессы стерилизации консервов «Ассорти из икры и молок пикши по-мурмански» и «Печень пикши по-мурмански».

В первом исследуемом процессе («Процесс 1») нагрев автоклава проводили 25 минут, собственно процесс стерилизации продукта осуществлялся 55 минут при температуре 115 °С, охлаждение автоклава выполнялось 20 минут (реальный автоклав сначала охлаждался 7 минут до температуры 40 °С и далее 13 минут до 18 °С). Начальные параметры процесса были выбраны следующие: температура фасования продукта – плюс 5 °С, температура греющей среды стерилизационной камеры автоклава – 83 °С. Исходя из вышеперечисленного и выражения (1.1) получается следующая условная форма записи режима:

$$5 \frac{25-55-20}{115} 0,2 \text{ МПа}, 4,7 \text{ усл. мин.}$$

В результате математического моделирования был получен процесс стерилизации, представленный на рисунках 2.1 и 2.2.

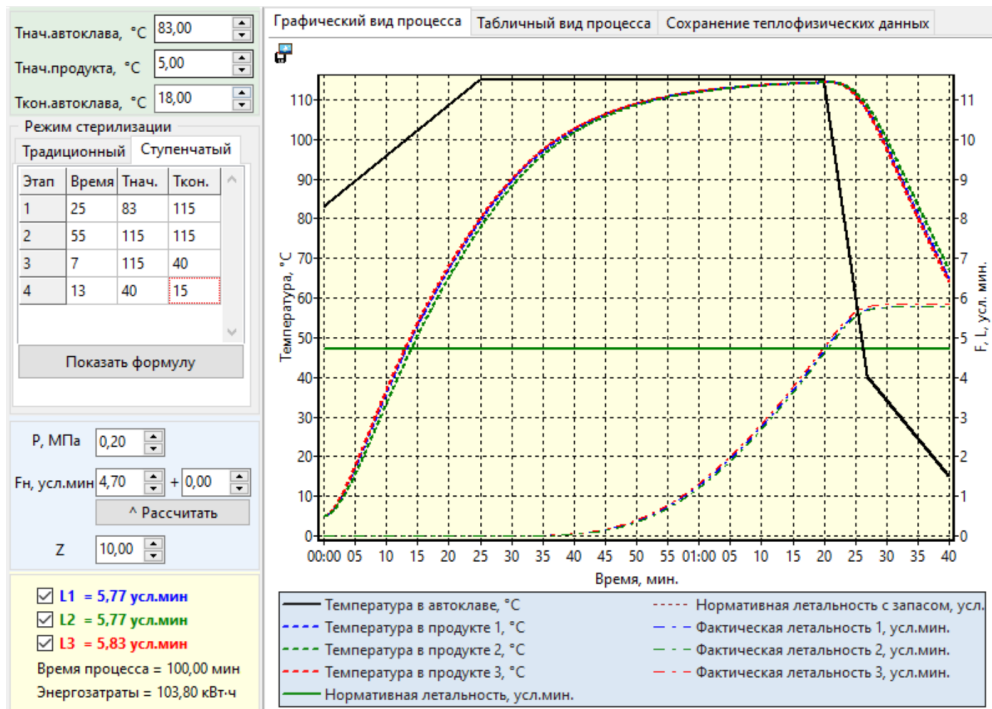


Рисунок 2.1 – Графический вид режима «Процесс 1»

Графический вид процесса

Табличный вид процесса

Сохранение теплофизических данных

Шаг по времени, мин: 5,00

Расчет фактической летальности

По процессу По таблице

Время, мин.	Тавтоклава	Тбанки1, С	L1, усл. мин.	Тбанки2, С	L2, усл. мин.	Тбанки3, С	L3, усл. мин.
0	83,00	5,00		5,00		5,00	
5,00	89,38	16,95		15,37		17,48	
10,00	95,78	35,78		33,21		36,62	
15,00	102,18	52,89		50,35		53,72	
20,00	108,58	67,24		65,10		67,98	
25,00	114,98	79,32		77,59		79,96	
30,00	114,98	89,35	0,00	87,99	0,00	89,89	0,00
35,00	114,98	96,89	0,01	95,92	0,01	97,31	0,01
40,00	114,98	102,28	0,05	101,65	0,04	102,60	0,05
45,00	114,98	106,09	0,16	105,69	0,14	106,31	0,17
50,00	114,98	108,75	0,38	108,52	0,34	108,92	0,40
55,00	114,98	110,62	0,75	110,50	0,70	110,74	0,78
60,00	114,98	111,93	1,28	111,87	1,22	112,01	1,32
65,00	114,98	112,85	1,95	112,82	1,89	112,91	2,01
70,00	114,98	113,49	2,76	113,48	2,69	113,53	2,83
75,00	114,98	113,93	3,68	113,94	3,61	113,97	3,75
80,00	114,98	114,25	4,67	114,26	4,61	114,27	4,76
85,00	61,41	111,39	5,56	111,86	5,52	111,25	5,64
90,00	34,21	98,22	5,76	99,99	5,76	97,65	5,83
95,00	24,59	81,06	5,77	83,49	5,77	80,27	5,83
100,00	14,98	64,93	5,77	67,33	5,77	64,14	5,83

Панель параметров:

Тнач.автоклава, °C: 83,00

Тнач.продукта, °C: 5,00

Ткон.автоклава, °C: 18,00

Режим стерилизации: Традиционный / Ступенчатый

Этап	Время	Тнач.	Ткон.
1	25	83	115
2	55	115	115
3	7	115	40
4	13	40	15

Р, МПа: 0,20

Fn, усл.мин: 4,70 + 0,00

Z: 10,00

Л1 = 5,77 усл.мин

Л2 = 5,77 усл.мин

Л3 = 5,83 усл.мин

Время процесса = 100,00 мин

Энергозатраты = 103,80 кВт·ч

Рисунок 2.2 – Табличный вид режима «Процесс 1»

Во втором исследуемом процессе («Процесс 2») нагрев автоклава проводили 25 минут, собственно процесс стерилизации продукта осуществлялся 70 минут при температуре 115 °C, охлаждение автоклава выполнялось 20 минут (реальный автоклав сначала охлаждался 7 минут до температуры 40 °C и далее 13 минут до 15 °C). Начальные параметры процесса были выбраны следующие:

температура продукта – плюс 6 °С, температура греющей среды стерилизационной камеры автоклава – 80 °С. Исходя из вышеперечисленного и выражения (1.1) получается следующая условная форма записи режима:

$$6 \frac{25-70-20}{115} 200 \text{ кПа, } 4,7 \text{ усл. мин.}$$

В результате математического моделирования был получен процесс стерилизации, представленный на рисунках 2.3 и 2.4.

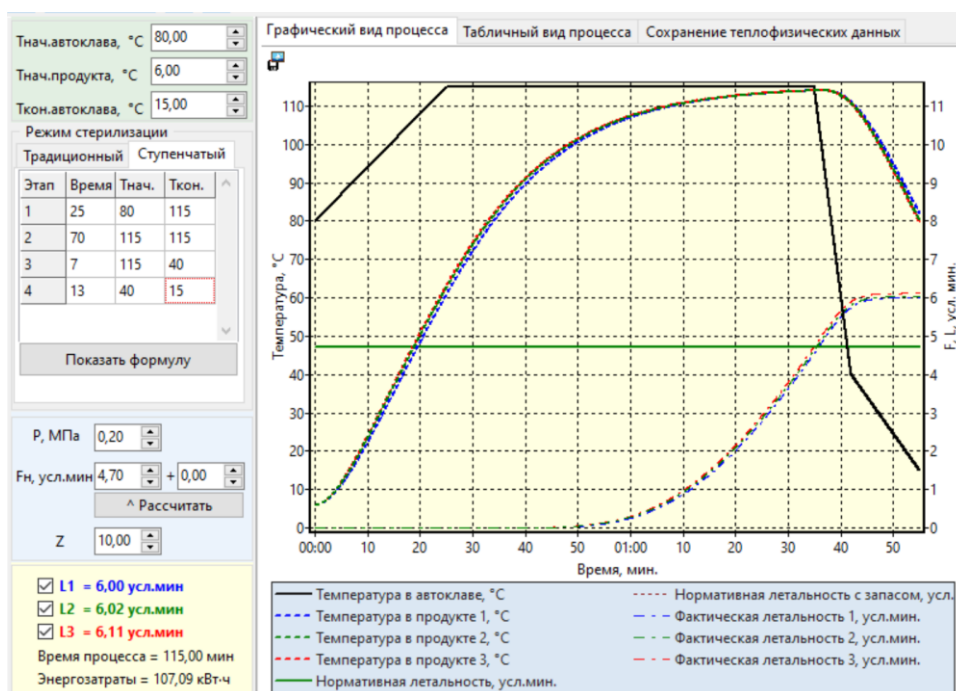


Рисунок 2.3 – Графический вид профиля «Процесс 2»

Графический вид процесса

Табличный вид процесса

Сохранение теплофизических данных

Шаг по времени, мин 5,00

Расчет фактической летальности

По процессу По таблице

Время, мин.	Тавтоклава	Тбанки1, С	L1, усл. мин.	Тбанки2, С	L2, усл. мин.	Тбанки3, С	L3, усл. мин.
0	80,00	6,00		6,00		6,00	
5,00	86,98	11,18		11,68		11,82	
10,00	93,98	22,28		23,47		23,83	
15,00	100,98	35,30		36,94		37,44	
20,00	107,98	48,40		50,20		50,77	
25,00	114,98	60,80		62,58		63,17	
30,00	114,98	72,12		73,77		74,34	
35,00	114,98	81,77		83,19		83,71	
40,00	114,98	89,60	0,00	90,75	0,00	91,21	0,00
45,00	114,98	95,77	0,01	96,66	0,01	97,04	0,01
50,00	114,98	100,54	0,04	101,20	0,05	101,51	0,05
55,00	114,98	104,18	0,11	104,65	0,12	104,90	0,13
60,00	114,98	106,93	0,25	107,25	0,28	107,45	0,30
65,00	114,98	109,00	0,50	109,20	0,54	109,36	0,57
70,00	114,98	110,54	0,87	110,67	0,93	110,79	0,97
75,00	114,98	111,69	1,38	111,76	1,45	111,86	1,50
80,00	114,98	112,55	2,02	112,58	2,09	112,65	2,16
85,00	114,98	113,18	2,77	113,19	2,85	113,25	2,93
90,00	114,98	113,65	3,62	113,65	3,71	113,69	3,79
95,00	114,98	114,00	4,56	113,99	4,64	114,02	4,74
100,00	61,41	112,94	5,49	112,79	5,57	112,78	5,66
105,00	34,21	106,20	5,93	105,49	5,97	105,31	6,06
110,00	24,59	94,93	5,99	93,62	6,02	93,24	6,11
115,00	14,98	81,97	6,00	80,28	6,02	79,77	6,11

Рисунок 2.4 – Табличный вид профиля «Процесс 2»

2.2 Процесс нагрева автоклава

С помощью программы PRSC было проведено математическое моделирование режимов «Процесс 1» и «Процесс 2» стерилизации продуктов с варьированием независимо друг от друга трех параметров, характерных для этапа нагрева:

- начальная температура продукта ($T_{н_прод}$);
- начальная температура греющей среды стерилизационной камеры автоклава ($T_{н_авт}$);
- продолжительность процесса нагрева автоклава в минутах ($t_{нагр}$).

По окончании процесса нагрева среды стерилизационной камеры автоклава пищевой продукт в банке не успевает прогреться до температур, при которых возможно считать фактический стерилизующий эффект. По этой причине при сравнении моделируемых режимов рассматриваются значения F-эффекта для процесса охлаждения.

Результаты моделирования для двух исследуемых процессов представлены в таблицах 2.1-2.3 и 2.4-2.6 соответственно. В таблицах используются следующие условные обозначения:

- $t_{пр_к_ССтер}$ – температура продукта к началу процесса собственно стерилизации;
- F1 – значение F-эффекта на момент начала охлаждения автоклава;
- F2 – значение F-эффекта через 7 минут после начала охлаждения;
- F3 – значение F-эффекта в конце охлаждения автоклава.

Таблица 2.1 – Результаты при изменении $T_{н_прод}$ для «Процесс 1»

№	$T_{н_прод}$, °С	$T_{н_авт}$, °С	$t_{нагр}$, мин.	$t_{пр_к_ССтер}$, мин.	F1, усл. мин.	F2, усл. мин.	F3, усл. мин.	F3-F1, усл. мин.	F2-F1, %	F3-F1, %
1	5	83	25	79,32	4,67	5,71	5,77	1,1	18,02	18,89
2	3	83	25	78,88	4,64	5,67	5,73	1,09	17,98	19,02
3	1	83	25	78,43	4,61	5,64	5,7	1,09	18,07	19,12
4	7	83	25	79,77	4,71	5,75	5,81	1,1	17,90	18,93
5	9	83	25	80,21	4,75	5,78	5,84	1,09	17,64	18,66

6	10	83	25	80,43	4,76	5,8	5,86	1,1	17,75	18,77
7	12	83	25	80,88	4,8	5,84	5,9	1,1	17,63	18,64
8	15	83	25	81,54	4,86	5,9	5,96	1,1	17,45	18,46
9	20	83	25	82,66	4,95	6	6,06	1,11	17,33	18,32
10	25	83	25	83,77	5,05	6,1	6,16	1,11	17,05	18,02

Таблица 2.2 – Результаты при изменении $T_{н_авт}$ для «Процесс 1»

№	$T_{н_прод},$ °C	$T_{н_авт},$ °C	$t_{нагр},$ МИН.	$t_{пр_к_ССтер},$ МИН.	F1, усл. МИН.	F2, усл. МИН.	F3, усл. МИН.	F3-F1, усл. МИН.	F2-F1, %	F3-F1, %
1	5	83	25	79,32	4,67	5,71	5,77	1,1	18,02	18,89
2	5	82	25	78,97	4,64	5,68	5,74	1,1	18,12	19,16
3	5	81	25	78,62	4,61	5,64	5,7	1,09	18,07	19,12
4	5	84	25	79,67	4,71	5,74	5,8	1,09	17,76	18,79
5	5	85	25	80,02	4,74	5,78	5,84	1,1	17,81	18,84
6	5	90	25	81,78	4,91	5,95	6,01	1,1	17,30	18,30
7	5	80	25	78,27	4,58	5,61	5,67	1,09	18,17	19,22
8	5	75	25	76,51	4,43	5,45	5,52	1,09	18,48	19,75
9	5	70	25	74,76	4,3	5,31	5,37	1,07	18,81	19,93
10	5	60	25	71,25	4,04	5,04	5,09	1,05	19,65	20,63

Таблица 2.3 – Результаты при изменении $t_{нагр}$ для «Процесс 1»

№	$T_{н_прод},$ °C	$T_{н_авт},$ °C	$t_{нагр},$ МИН.	$t_{пр_к_ССтер},$ МИН.	F1, усл. МИН.	F2, усл. МИН.	F3, усл. МИН.	F3-F1, усл. МИН.	F2-F1, %	F3-F1, %
1	5	83	25	79,32	4,67	5,71	5,77	1,1	18,02	19,06
2	5	83	24	77,59	4,54	5,56	5,62	1,08	18,15	19,22
3	5	83	23	75,74	4,4	5,42	5,48	1,08	18,61	19,71
4	5	83	22	73,78	4,26	5,27	5,33	1,07	18,95	20,08
5	5	83	21	71,7	4,12	5,12	5,18	1,06	19,31	20,46
6	5	83	20	69,48	3,98	4,97	5,03	1,05	19,68	20,87
7	5	83	18	64,64	3,7	4,67	4,73	1,03	20,51	21,78
8	5	83	30	86,58	5,35	6,41	6,47	1,12	16,38	17,31
9	5	83	35	91,95	5,98	7,07	7,13	1,15	15,29	16,13
10	5	83	40	95,95	6,57	7,68	7,74	1,17	14,34	15,12

Таблица 2.4 – Результаты при изменении $T_{н_прод}$ для «Процесс 2»

№	$T_{н_прод}$, °С	$T_{н_авт}$, °С	$t_{нагр}$, МИН.	$t_{пр_к_ССтер}$, МИН.	F1, усл. МИН.	F2, усл. МИН.	F3, усл. МИН.	F3-F1, усл. МИН.	F2-F1, %	F3-F1, %
1	10	80	25	62,37	4,65	5,84	6,09	1,44	19,54	23,65
2	9	80	25	61,98	4,63	5,81	6,06	1,43	19,47	23,60
3	8	80	25	61,59	4,61	5,79	6,04	1,43	19,54	23,68
4	7	80	25	61,19	4,59	5,77	6,02	1,43	19,60	23,75
5	6	80	25	60,8	4,56	5,75	6	1,44	19,83	24,00
6	5	80	25	60,41	4,54	5,72	5,97	1,43	19,77	23,95
7	4	80	25	60,02	4,52	5,7	5,95	1,43	19,83	24,03
8	3	80	25	59,62	4,5	5,68	5,93	1,43	19,90	24,11
9	2	80	25	59,23	4,48	5,66	5,91	1,43	19,97	24,20
10	1	80	25	58,84	4,46	5,64	5,88	1,42	20,07	24,15

Таблица 2.5 – Результаты при изменении $T_{н_авт}$ для «Процесс 2»

№	$T_{н_прод}$, °С	$T_{н_авт}$, °С	$t_{нагр}$, МИН.	$t_{пр_к_ССтер}$, МИН.	F1, усл. МИН.	F2, усл. МИН.	F3, усл. МИН.	F3-F1, усл. МИН.	F2-F1, %	F3-F1, %
1	6	75	25	59,18	4,43	5,6	5,85	1,42	20,00	24,27
2	6	76	25	59,5	4,45	5,63	5,88	1,43	20,07	24,32
3	6	77	25	59,83	4,48	5,66	5,9	1,42	20,00	24,07
4	6	78	25	60,15	4,51	5,69	5,93	1,42	19,90	23,95
5	6	80	25	60,8	4,56	5,75	6	1,44	19,83	24,00
6	6	70	25	57,56	4,3	5,46	5,7	1,4	20,35	24,56
7	6	60	25	54,32	4,05	5,19	5,44	1,39	20,96	25,55
8	6	90	25	64,04	4,86	6,07	6,32	1,46	19,15	23,10
9	6	100	25	68,86	5,3	6,53	6,79	1,49	18,11	21,94
10	6	85	25	62,42	4,71	5,9	6,15	1,44	19,35	23,41

Таблица 2.6 – Результаты при изменении $t_{нагр}$ для «Процесс 2»

№	$T_{н_прод}$, °С	$T_{н_авт}$, °С	$t_{нагр}$, МИН.	$t_{пр_к_ССтер}$, МИН.	F1, усл. МИН.	F2, усл. МИН.	F3, усл. МИН.	F3-F1, усл. МИН.	F2-F1, %	F3-F1, %
1	6	80	25	60,8	4,56	5,75	6	1,44	19,83	24,00
2	6	80	24	58,77	4,43	5,6	5,85	1,42	20,00	24,27

3	6	80	23	56,66	4,3	5,46	5,71	1,41	20,32	24,69
4	6	80	22	54,48	4,16	5,31	5,56	1,4	20,68	25,18
5	6	80	21	52,23	4,03	5,17	5,41	1,38	21,07	25,51
6	6	80	20	49,91	3,89	5,02	5,27	1,38	21,44	26,19
7	6	80	18	45,06	3,63	4,73	4,97	1,34	22,13	26,96
8	6	80	30	69,88	5,23	6,45	6,71	1,48	18,18	22,06
9	6	80	35	77,26	5,87	7,13	7,39	1,52	17,05	20,57
10	6	80	40	83,2	6,49	7,77	8,04	1,55	15,92	19,28

Полученные результаты показывают, что варьирование параметров $T_{н_прод}$ и $T_{н_авт}$ оказывает незначительное влияние на фактический стерилизующий эффект, набираемый при охлаждении стерилизационной камеры автоклава. Отклонение конечного значения F-эффекта для процессов с различными начальными температурами продукта и греющей среды составляет не более 2 процентов от конечного значения.

Изменение продолжительности этапа $t_{нагр}$ напрямую влияет на конечное значение F-эффекта процесса: уменьшение времени нагрева на 7 минут приводит к потере одной условной минуты или 16 процентов от общего фактического стерилизующего эффекта, а увеличение на 15 минут – к прибавке двух условных минут или 32 процентов от кумулятивного F-эффекта.

Поскольку за время данного этапа не набирается F-эффект, то процесс нагрева желательно осуществлять как можно быстрее для сокращения суммарного времени проведения процесса стерилизации продукта. Однако, продолжительность реального процесса нагрева ограничена и полностью зависит от возможностей выбранной модели автоклава по прогреву греющей среды стерилизационной камеры.

Теперь проведем эксперимент по получению зависимости конечного фактического стерилизующего эффекта готового продукта от продолжительности этапа нагрева, начальных температур продукта и среды стерилизационной камеры автоклава.

Возьмем следующий режим стерилизации консервов, записанный согласно (1.1):

$$10 \frac{25-55-20}{115 \text{ } ^\circ\text{C}} \text{ 0,2 МПа, 4,7 усл. мин.}$$

в качестве исходного и промоделируем его в программе PRSC, при этом начальные температуры продукта и греющей среды стерилизационной камеры автоклава равны 10 и 83 градуса Цельсия соответственно.

Для этого выберем план проведения эксперимента первого порядка – полный факторный эксперимент для трех факторов ($k=3$), варьируемых на двух уровнях ($q=2$) [71]. План-матрица проведения эксперимента представлена в таблице 2.7.

В таблице 2.7 приняты следующие обозначения:

- x_1 – продолжительность этапа нагрева в кодированном виде («-1» означает 10 минут, «1» – 40 минут);
- x_2 – начальная температура продукта в кодированном виде («-1» означает плюс 5 °С, «1» – плюс 15 °С);
- x_3 – начальная температура среды стерилизационной камеры автоклава в кодированном виде («-1» означает плюс 66 °С, «1» – плюс 100 °С).

Все остальные столбцы представляют собой вспомогательные значения, полученные перемножением значений x_1 , x_2 и x_3 .

Таблица 2.7 – План-матрица эксперимента

Опыт	x_1	x_2	x_3	x_1*x_2	x_1*x_3	x_2*x_3	$x_1*x_2*x_3$
1	-1	-1	-1	1	1	1	-1
2	1	-1	-1	-1	-1	1	1
3	-1	1	-1	-1	1	-1	1
4	1	1	-1	1	-1	-1	-1
5	-1	-1	1	1	-1	-1	1
6	1	-1	1	-1	1	-1	-1
7	-1	1	1	-1	-1	1	-1
8	1	1	1	1	1	1	1

Для каждого опыта в программе PRSC установим соответствующие параметры процесса и промоделируем процесс стерилизации с последующим получением значений фактического стерилизующего эффекта (L1, L2, L3) для трех моделей одного продукта, полученных в программе TPM. Опыты проводились в случайном порядке для обоснованного использования аппарата математической статистики и для исключения систематической погрешности моделирования. Результаты представлены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Результаты проведения опытов

Опыт u	L1, усл. мин.	L2, усл. мин.	L3, усл. мин.
1	3,33	3,33	3,38
2	6,87	6,86	6,93
3	3,53	3,53	3,59
4	6,96	6,95	7,03
5	3,7	3,71	3,76
6	8,96	8,97	9,03
7	3,95	3,95	4,01
8	9,15	9,15	9,22

Далее проведем математическую и статистическую обработку результатов.

Определим воспроизводимость процесса для трех параллельных опытов на каждом сочетании уровней факторов по G-критерию Кохрена:

$$G = \frac{s_{u \max}}{\sum_{u=1}^n s_u^2} \leq G_{(0.05, f_n, f_u)}, \quad (2.1)$$

где $s_u^2 = \frac{\sum_{p=1}^m (y_{up} - \bar{y}_u)^2}{m-1}$ – дисперсия рассеивания результатов на опыте u ; $p = 1, 2, \dots, m$ – число параллельных опытов; $s_{u \max}^2$ – наибольшая из дисперсий в строках плана; $G_{(0.05, f_n, f_u)}$ – табличное значение критерия Кохрена для пятипроцентного уровня значимости; $f_n = n$ – число независимых оценок дисперсии; $f_u = m-1$ – число степеней свободы каждой оценки.

Процесс считается воспроизводимым при выполнении неравенства (2.1).

Для данного эксперимента получаем следующие значения:

$$G = \frac{0,0019}{0,00083+0,00143+2*0,0012+0,0019+0,00103+0,00143+0,00163} =$$

$$= 0,1781 \leq 0,5157 = G_{(0.05, 8, 2)}.$$

Неравенство выполняется, значит, процесс воспроизводим и можно рассчитать коэффициенты регрессии $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{123}$. Полученные значения представлены в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Полученные значения коэффициентов регрессии

Коэффициент	Значение	Значимость коэффициента
b_0	5,8271	да
b_1	2,1796	да
b_2	0,0913	да
b_3	0,6363	да
b_{12}	-0,0213	нет
b_{13}	0,4371	да
b_{23}	0,0171	нет
b_{123}	0,0062	нет

Значимость коэффициентов определяем с помощью t-критерия Стьюдента. Коэффициент считается значимым, если выполняется неравенство:

$$|b_i| \geq \Delta b_i = t_{(0.05; f_y)} * \left(\frac{\sum_{u=1}^n S_u^2}{n * \sqrt{n}} \right), \quad (2.2)$$

где $t_{(0.05; f_y)}$ – точка пяти процентного распределения критерия Стьюдента для f_y степеней свободы.

Получаем: $\Delta b_i = 4,303 * \left(\frac{0,01067}{8 * \sqrt{8}} \right) = 0,0556$. Результат выполнения неравенства (2.2) для коэффициентов представлен в столбце «Значимость коэффициента» в таблице 2.9.

Теперь для полученных коэффициентов линейной регрессии проверим адекватность модели с помощью F-критерия Фишера. Адекватность не отвергается, если выполняется неравенство:

$$F = \frac{s_{ад}^2 * n}{\sum_{u=1}^n S_u^2} \leq F_{(0.05, f_{ад}, f_u)}, \quad (2.3)$$

где $s_{ад}^2 = \frac{\sum_{u=1}^n (\bar{y}_u - y_u)^2}{n-k-1}$ – дисперсия адекватности модели; y_u – расчетное значение отклика в u -ом опыте; $F_{(0.05, f_{ад}, f_u)}$ – критерий Фишера при пяти процентном уровне значимости; $f_{ад} = n-k-1$ – число степеней свободы дисперсии адекватности.

Для проверки адекватности модели будем использовать только значимые коэффициенты линейной регрессии. Получим:

$$F = \frac{0,001565 \cdot 8}{0,01067} = 1,174 \leq 19,25 = F_{(0.05, 4, 2)}.$$

Следовательно, линейная модель с полученными значимыми коэффициентами адекватна и выражается следующей зависимостью:

$$\tilde{F} = 5,8271 + 2,1796 \cdot x_1 + 0,0913 \cdot x_2 + 0,6363 \cdot x_3 + 0,4371 \cdot x_1 \cdot x_3$$

Таким образом, при расчете значения конечного фактического стерилизующего эффекта не учитывается взаимовлияние факторов x_1 и x_2 , x_2 и x_3 , а также x_1 , x_2 и x_3 .

Сравним расчетное значение полученной линейной модели (4,908 усл. мин.) и значение, полученное при моделировании процесса (5 усл. мин.) в программном обеспечении PRSC (рисунок 2.5), при следующих кодированных параметрах: x_1 равен 0 (25 минут), $x_2 = 2$ (20 °C) и x_3 равен -0,7647 (70 °C).

The screenshot shows the PRSC software interface. On the left, there are input fields for sterilization parameters: initial autoclave temperature (70.00 °C), product temperature (20.00 °C), and final autoclave temperature (18.00 °C). Below these are options for sterilization mode (Traditional or Staircase) and a table for staircase parameters. At the bottom left, there are fields for pressure (0.14 MPa), sterilization time (6.20 + 0.50), and Z-value (10.00), with a 'Calculate' button. On the right, there are tabs for 'Graphical view of the process', 'Tabular view of the process', and 'Saving thermo-physical data'. The 'Tabular view' is active, showing a table with columns for time, autoclave temperature, tank temperatures, and lethality (L1, L2, L3). The 'Calculation of actual lethality' section is also visible, with radio buttons for 'By process' (selected) and 'By table'.

Время, мин.	Тавтоклава	Тбанки1, С	L1, усл. мин.	Тбанки2, С	L2, усл. мин.	Тбанки3, С	L3, усл. мин.
0	70,00	20,00		20,00		20,00	
5,00	81,21	28,06		27,00		28,43	
10,00	92,46	42,00		40,10		42,62	
15,00	103,71	56,27		54,19		56,96	
20,00	114,96	69,91		67,91		70,59	
25,00	114,96	82,25		80,48		82,88	
30,00	114,96	91,79	0,00	90,45	0,00	92,30	0,00
35,00	114,96	98,68	0,02	97,76	0,01	99,07	0,02
40,00	114,96	103,55	0,07	102,97	0,06	103,84	0,08
45,00	114,96	106,98	0,21	106,62	0,18	107,18	0,22
50,00	114,96	109,37	0,47	109,17	0,43	109,52	0,50
55,00	114,96	111,05	0,89	110,94	0,83	111,16	0,92
60,00	114,96	112,23	1,46	112,17	1,39	112,30	1,51
65,00	114,96	113,05	2,18	113,03	2,10	113,10	2,24
70,00	114,96	113,62	3,02	113,62	2,94	113,66	3,08
75,00	114,96	114,02	3,96	114,03	3,88	114,05	4,03
80,00	61,39	111,23	4,81	111,70	4,76	111,10	4,88
85,00	34,89	98,12	5,00	99,89	4,99	97,55	5,06
90,00	26,42	81,19	5,00	83,59	5,00	80,41	5,07
95,00	17,96	65,53	5,00	67,86	5,00	64,75	5,07

Рисунок 2.5 – Моделирование процесса в программе PRSC

Полученные значения фактических стерилизующих эффектов продукта расходятся всего лишь на 0,1 усл. мин. или два процента. Это значит, что найденная линейная модель подходит для оценки значения F-эффекта данного продукта в зависимости от трех факторов:

- продолжительности этапа нагрева;
- начальной температуры продукта;
- начальной температуры среды в стерилизационной камере.

2.3 Этап охлаждения

На первом этапе исследования влияния процесса охлаждения греющей среды стерилизационной камеры автоклава на конечное значение F-эффекта были взяты реальные процессы стерилизации консервов из икры, молоко и печени пикши (трески) в автоклавах вертикального типа периодического действия. Выборка составила 45 процессов со временем процесса собственно стерилизации от 50 до 70 минут. Продолжительность охлаждения автоклава для всех процессов составила 20 минут.

В результате статистического анализа проведенных процессов тепловой обработки было получено, что среднее приращение значения F-эффекта за время процесса охлаждения реального автоклава составляет 18 процентов (минимум – 15,5 %, максимум – 22,3 %). Остальные показатели представлены на рисунке 2.6.

Среднее	18,28
Стандартная ошибка	0,29
Медиана	18,02
Стандартное отклонение	1,93
Дисперсия выборки	3,73
Интервал	6,87
Минимум	15,46
Максимум	22,33
Сумма	822,62
Счет	45,00

Рисунок 2.6 – Статистические показатели анализируемых процессов

На втором этапе исследования с помощью программы PRSC было проведено математическое моделирование режима «Процесс 1» и «Процесс 2»

стерилизации продуктов с варьированием параметров охлаждения автоклава. Для этого процесс разделим на несколько этапов (рисунок 2.7).

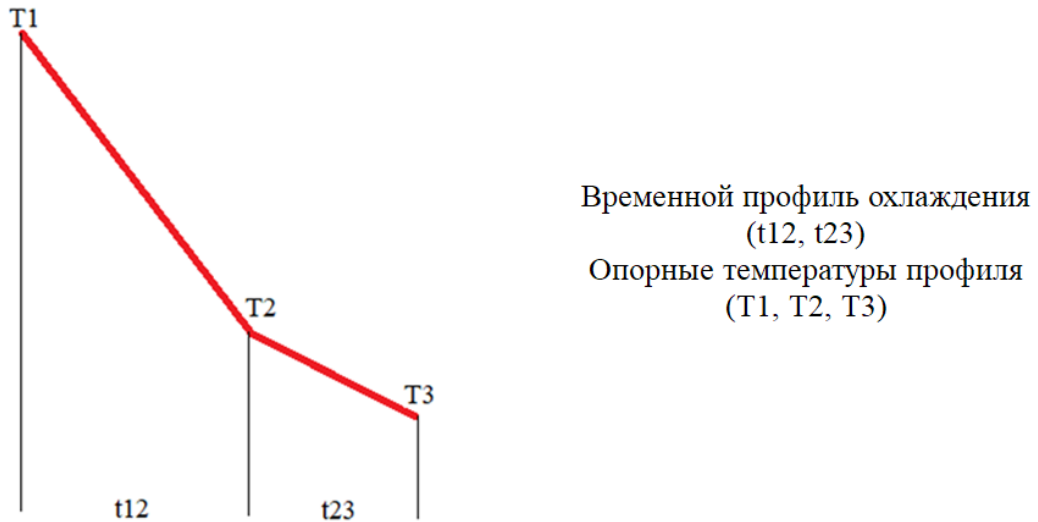


Рисунок 2.7 – Деление процесса охлаждения на этапы

Для изучения были промоделированы несколько различных процессов охлаждения, в число которых были включены усредненные реальные температурные профили лабораторного автоклава АВК-30М и промышленного автоклава АСКАМАТ-230. При этом не учитывались ограничения по реализуемости данных процессов тепловой обработки на реальном оборудовании.

Результаты моделирования для исследуемых режимов «Процесс 1» и «Процесс 2» представлены в таблицах 2.10 и 2.11 соответственно.

Таблица 2.10 – Результаты моделирования для режима «Процесс 1»

№	T1, °C	T2, °C	T3, °C	t12, мин.	t23, мин.	F1, усл. мин.	F2, усл. мин.	F3, усл. мин.	F2-F1, %	F3-F1, %
1	115	18	18	5	15	4,68	5,47	5,54	14,26	15,52
2	115	40	18	5	15	4,68	5,51	5,64	14,72	17,02
3	115	40	18	7	13	4,68	5,71	5,77	17,85	18,89
4	115	40	18	8	12	4,68	5,79	5,83	19,04	19,73
5	115	40	18	10	10	4,68	5,92	5,94	20,88	21,21
6	115	40	18	15	5	4,68	6,17	6,17	24,15	24,15
7	115	18	–	20	–	4,68	6,19	–	24,39	–
8	115	30	–	20	–	4,68	6,28	–	25,48	–
9	115	60	18	15	5	4,68	6,37	6,39	26,45	26,76

10	115	80	18	10	10	4,68	6,26	6,42	24,61	27,10
11	115	50	–	20	–	4,68	6,48	–	27,78	–
12	115	60	–	20	–	4,68	6,62	–	29,31	–
13	115	100	18	10	10	4,68	6,54	7,03	26,46	33,43
14	115	105	18	10	10	4,68	6,63	7,29	26,75	35,80
15	115	100	18	15	5	4,68	7,25	7,53	34,13	37,85

Таблица 2.11 – Результаты моделирования для режима «Процесс 2»

№	T1, °C	T2, °C	T3, °C	t12, мин.	t23, мин.	F1, усл. мин.	F2, усл. мин.	F3, усл. мин.	F2-F1, %	F3-F1, %
1	115	15	15	5	15	4,65	5,53	5,79	15,20	19,69
2	115	40	15	5	15	4,65	5,56	5,93	15,35	21,59
3	115	40	15	7	13	4,65	5,84	6,09	19,54	23,65
4	115	40	15	8	12	4,65	5,96	6,16	21,27	24,51
5	115	40	15	10	10	4,65	6,16	6,29	24,01	26,07
6	115	40	15	15	5	4,65	6,54	6,58	28,72	29,33
7	115	15	–	20	–	4,65	6,58	–	29,33	–
8	115	30	–	20	–	4,65	6,71	–	30,70	–
9	115	60	15	15	5	4,65	6,74	6,83	30,60	31,92
10	115	80	15	10	10	4,65	6,41	6,85	25,69	32,12
11	115	50	–	20	–	4,65	6,93	–	32,90	–
12	115	60	–	20	–	4,65	7,08	–	34,32	–
13	115	100	15	10	10	4,65	6,57	7,44	25,81	37,50
14	115	105	15	10	10	4,65	6,62	7,66	25,72	39,30
15	115	100	15	15	5	4,65	7,41	7,91	34,89	41,21

Анализируя таблицы, можно сказать, что при проведении реальных процессов тепловой обработки консервов из гидробийонтов в автоклавах АВК-30М и АСКАМАТ-230 влияние этапа охлаждения на конечное значение F-эффекта составляет около 24 и 17 процентов соответственно.

В зависимости от варьирования профиля изменения температуры греющей среды автоклава на этапе охлаждения процесса его влияние на конечный

фактический стерилизующий эффект может составлять в среднем от 16 до 41 процента.

Результаты моделирования подтверждают заявленную в специализированной литературе возможность изменения F-эффекта на этапе охлаждения до 40 процентов от конечного значения [5].

Продолжительность реального процесса охлаждения полностью зависит от возможностей выбранной модели автоклава по скорости остывания греющей среды стерилизационной камеры.

2.4 Энергозатраты на процесс

Проведем расчет энергозатрат для процесса стерилизации пищевых продуктов по известным формулам из [72].

Исходные данные представлены в таблицах 1.1 и 2.12. Результаты расчетов сведены в таблицы 2.13 и 2.14.

Таблица 2.12 – Исходные данные для расчета энергозатрат

Параметр	Значение	Единица измерения
Теплоемкость стали автоклава и корзин	481	Дж/(кг·К)
Начальная температура стали автоклава	80	°С
Начальная температура стали корзин автоклава	20	°С
Теплоемкость продукта-имитатора (паштет шпротный [хх])	3600	Дж/(кг·К)
Начальная температура продукта-имитатора	10	°С
Теплоемкость воды	4180	Дж/(кг·К)
Начальная температура воды	80	°С
Температура стерилизации консервов	115	°С
Температура наружного воздуха	20	°С
Коэффициент теплоотдачи вода-стенка автоклава	210	Вт/(м ² ·К)
Коэффициент теплоотдачи теплоизоляция-воздух	10,5	Вт/(м ² ·К)
Коэффициент теплопроводности стенки автоклава	46,5	Вт/(м·К)
Коэффициент теплопроводности слоя изоляции	0,11	Вт/(м·К)
Температура охлаждающей воды	10	°С

Номер жестяной консервной банки [73]	3	–
Высота банки наружная, м	0,0404	м
Диаметр банки наружный, м	0,103	м
Масса продукта, кг	0,23	кг
Масса банки, кг	0,05	кг

Таблица 2.13 – Результаты расчета затрат энергии для автоклавов

Параметр	Значение для АВК-30М	Значение для АСКАМАТ-230	Единица измерения
<i>Этап нагрева среды автоклава</i>			
Затраты на нагрев корпуса автоклава	1937	4798	кДж
Затраты на нагрев корзин автоклава	183	914	кДж
Затраты на нагрев банок	107	940	кДж
Затраты на нагрев продукта	3652	32342	кДж
Затраты на нагрев воды	2812	19877	кДж
Коэффициент теплопередачи вода - воздух	1,81	2,7	Вт/(м ² ·К)
Температура наружной стенки	33,4	40	°С
Суммарный коэффициент теплопроводности стенки	10,64	11,1	Вт/(м ² ·К)
Время нагрева	1500	1500	секунда
Потери в окружающую среду	107	666	кДж
Общие расход тепла на этапе нагрева	8798	59537	кДж
Затраты электроэнергии	2,4	16,5	кВт·ч
<i>Этап собственно стерилизации</i>			
Температура наружной стенки	35,9	43,8	°С
Средняя температура воды за время стерилизации	10,81	11,37	°С
Время стерилизации	3600	3600	секунда
Потери в окружающую среду	310	1949	кДж
Общие расход тепла на этапе стерилизации	310	1949	кДж
Затраты электроэнергии	0,1	0,5	кВт·ч
<i>Этап охлаждения среды автоклава</i>			
Масса автоклава, банок, сеток и воды	140	459	кг
Приведенная теплоемкость	0,99	1,58	кДж/(кг·К)

Конечная температура автоклава, сеток и воды	15	15	°С
Конечная температура продукта	45	45	°С
Расход воды	110	608	кг
Время охлаждения	1200	1200	секунда
Расход воды за секунду	0,09	0,51	кг/сек

Таблица 2.14 – Сравнение энергозатрат автоклавов

Тип автоклава	Затраты на этапе нагрева, кДж	Затраты на этапе стерилизации, кДж	Итоговые затраты, кДж	Итоговые затраты, в % от затрат для АСКАМАТ-230	Итоговые затраты, в % от затрат для АВК-30М
АВК-30М	8798	310	9108	14,8	100
АСКАМАТ-230	59537	1949	61486	100	675

Процесс нагрева греющей среды автоклава является самым энергозатратным этапом. Чаще всего на производстве автоклав сразу включают на полную мощность, поэтому на данном этапе сложно сэкономить энергозатраты. От процесса нагрева напрямую зависит фактический стерилизующий эффект, так чем быстрее прогреть автоклав, тем быстрее произойдет прогрев продукта.

На этапе собственно стерилизации энергия тратится на компенсацию потерь в окружающую среду. Поэтому для того чтобы сэкономить на этапе собственно стерилизации нужно слегка перегреть автоклав на начало этапа, и далее автоклав будет естественно снижать температуру до заданной в условной форме записи (1.1) температуры. Таким образом, можно сэкономить до 4 процентов электроэнергии на весь процесс стерилизации.

Использование лабораторного автоклава взамен промышленного позволяет сэкономить до 85 процентов энергозатрат на процесс при разработке режима стерилизации.

2.5 Интервал измерения температуры греющей среды

Был проведен поиск оптимального шага для измерения температуры продукта, по которой рассчитывается F-эффект. Фактическая летальность

продукта определялась в наименее прогреваемой точке консервной банки с продуктом. Шаг измерения температуры менее 30 секунд не рассматривался по причине того, что логгеры комплексов Ellab и ThermoChron iButton сохраняют данные о температуре в проведенных реальных процессах с шагом в полминуты.

Результаты представлены в таблицах 2.15 и 2.16.

Таблица 2.15 – F-эффект, рассчитанный табличным методом

Шаг измерения температуры, мин.	Режимы стерилизации			
	5 $\frac{25 - 55 - 20}{115}$ 0,2 МПа, 4,7 усл. мин.		6 $\frac{25 - 70 - 20}{115}$ 0,2 МПа, 4,7 усл. мин.	
	F-эффект, усл. мин.	ΔF относительно первого значения, %	F-эффект, усл. мин.	ΔF относительно первого значения, %
0,5	5,149	0	6,309	0
1	5,139	0,194	6,302	0,111
2	5,1	0,952	6,272	0,586
5	4,882	5,185	6,065	3,87
10	4,199	18,45	5,566	11,78
20	3,572	30,63	4,747	24,76

Таблица 2.16 – F-эффект, рассчитанный с использованием метода численного интегрирования

Шаг измерения температуры, мин.	Режимы стерилизации			
	5 $\frac{25 - 55 - 20}{115}$ 0,2 МПа, 4,7 усл. мин.		6 $\frac{25 - 70 - 20}{115}$ 0,2 МПа, 4,7 усл. мин.	
	F-эффект, усл. мин.	ΔF относительно первого значения, %	F-эффект, усл. мин.	ΔF относительно первого значения, %
0,5	5,149	0	6,307	0
1	5,154	-0,1	6,314	-0,11
2	5,148	0,02	6,318	-0,17
5	5,144	0,1	6,312	-0,08
10	5,09	1,15	6,42	-1,79
20	6,04	-17,3	6,88	-9,1

Были сделаны следующие выводы:

- оптимальный шаг измерения температуры зависит от метода расчета F-эффекта;
- по методу средних прямоугольников, используя данные из справочных таблиц коэффициентов летальности, оптимальный шаг составляет не более двух минут (таблица 2.15);
- с использованием численного интегрирования по методу трапеций оптимальный шаг – до десяти минут (таблица 2.16);
- в зависимости от выбора оптимального шага значение рассчитанного F-эффекта варьируется в пределах пяти процентов.

2.6 Температурное поле автоклава

Неоднородность температурного поля в стерилизационных камерах промышленных автоклавов в процессе нагрева и/или охлаждения является одной из проблем при разработке нового режима термической обработки продукта на этапе предварительного подбора.

В учебно-экспериментальном цехе МАУ было проведено исследование температурного поля промышленного автоклава АСКМАТ-230 [61].

Определение параметров температурного поля проводилось согласно пункту 3 методики изучения температурного поля греющей среды аппаратов периодического действия для стерилизации консервов. Для измерения температур в банках с продуктом и стерилизационной камере использовались логгеры температуры, установленные по схеме, представленной на рисунке 2.8.

На основании полученной информации построены температурно-временные зависимости и графики изменения фактического стерилизующего эффекта в банках с продуктом для всего процесса стерилизации, представленные в [61].

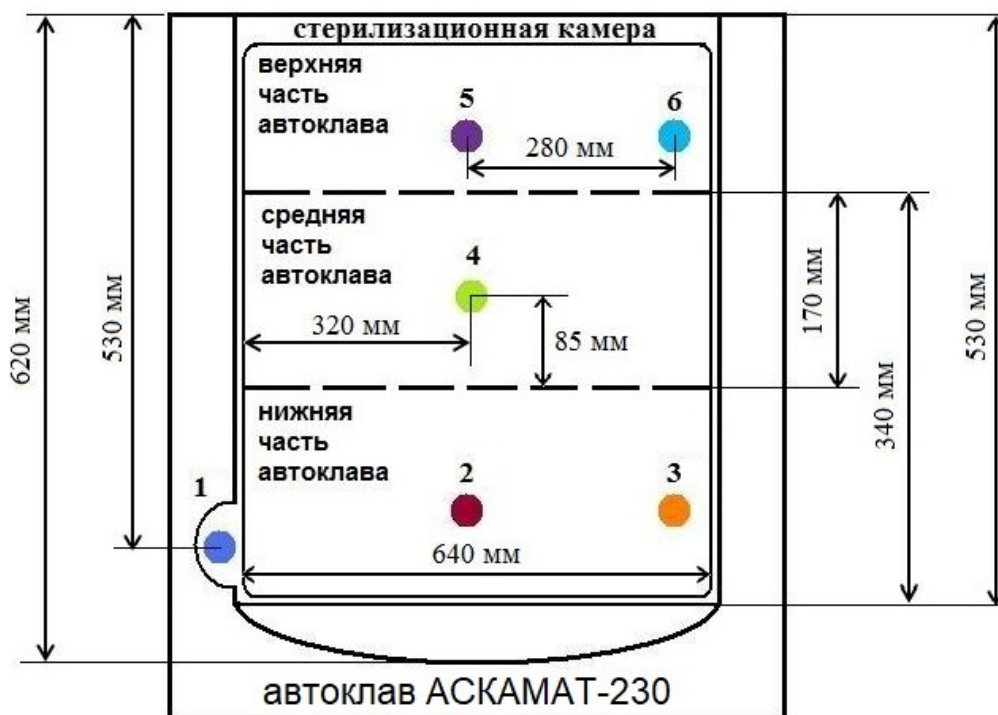


Рисунок 2.8 – Схема расположения логгеров температуры внутри стерилизационной камеры

В результате исследования можно сделать следующие выводы:

- 1) Температурное поле промышленного автоклава на этапе собственно стерилизации – равномерное, так как разница температур составляет менее 1 °С.
- 2) В процессе охлаждения температурное поле является неоднородным, поскольку нижняя часть стерилизационной камеры автоклава охлаждается быстрее верхней на 15 минут, а банки с продуктом – на 10 минут. Причиной такой неоднородности является подача охлаждающей воды через донную часть автоклава.
- 3) На этапе предварительного подбора режимов стерилизации консервов рекомендуется банки с продуктом размещать в нижней корзине автоклава.
- 4) Необходимо учитывать десятипроцентную разницу F-эффектов в верхней и нижней корзинах при проведении процесса стерилизации консервов.

В исследованиях [74] и [2] доказана симметричность температурного поля лабораторного автоклава АВК-30М относительно вертикальной оси, а также что наименее прогреваемая область стерилизационной камеры расположена в середине верхней корзины.

Выводы по главе 2

1. Отклонение конечного значения F-эффекта для процессов с различными начальными температурами продукта и греющей среды составляет не более двух процентов от конечного значения. Изменение продолжительности этапа нагрева напрямую влияет на конечное значение F-эффекта. Найдена линейная модель, которая подходит для оценки значения F-эффекта продукта в зависимости от продолжительности этапа нагрева, начальной температуры продукта и начальной температуры среды в стерилизационной камере. Процесс нагрева желательно осуществлять как можно быстрее для сокращения суммарного времени проведения процесса стерилизации продукта.

2. Среднее приращение значения F-эффекта за время процесса охлаждения реального автоклава составляет 18 процентов. В зависимости от профиля изменения температуры греющей среды автоклава на этапе охлаждения процесса его влияние на конечный фактический стерилизующий эффект может составить от 16 до 41 процента.

3. Процесс нагрева греющей среды автоклава является самым энергозатратным этапом. На этапе собственно процесса стерилизации энергия тратится на компенсацию потерь в окружающую среду. Использование лабораторного автоклава взамен промышленного позволяет сэкономить до 85 процентов энергозатрат на процесс при разработке режима стерилизации.

4. Оптимальный шаг измерения температуры зависит от метода расчета F-эффекта, который может варьироваться в пределах пяти процентов.

5. Температурное поле промышленного автоклава на этапе собственно стерилизации – равномерное, но в процессе охлаждения является неоднородным, На этапе предварительного подбора режимов стерилизации консервов рекомендуется банки с продуктом размещать в нижней корзине автоклава, чтобы учесть десятипроцентную разницу F-эффектов. В лабораторном автоклаве температурное поля симметрично относительно вертикальной оси, а наименее прогреваемая область стерилизационной камеры расположена в середине верхней корзины.

ГЛАВА 3. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИК И АЛГОРИТМОВ РАЗРАБОТКИ РЕЖИМОВ СТЕРИЛИЗАЦИИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

3.1 Общие сведения о разработке режимов

Режим стерилизации пищевых продуктов должен обеспечить выработку готовой продукции, отвечающей по микробиологическим показателям требованиям промышленной стерильности, а по физико-химическим и органолептическим показателям – нормативной документации [75].

Разработка постоянного режима стерилизации для конкретного пищевого продукта является трудоёмким процессом, поскольку она требует проведения большого количества автоклавоварок, необходимых для получения и утверждения режима, а значит использования значительных временных, энергетических и материальных ресурсов [3].

В общем случае процесс разработки режима стерилизации пищевого продукта, в частности из гидробионтов, состоит из этапов предварительного подбора, лабораторного испытания и последующей производственной проверки, а также оформления, согласования и представления на утверждение [76].

На стадии предварительного подбора режима необходимо:

- выбрать тест-микрорганализм;
- определить термоустойчивость тест-микрорганализма;
- вычислить величину требуемой летальности;
- подобрать параметры предварительного режима;
- проверить полученные параметры режима посредством проведения некоторого количества пробных автоклавоварок.

На этапе лабораторного испытания проводят проверку ориентировочного режима стерилизации пищевого продукта, подобранного на предыдущей стадии. После проведения процесса стерилизации готовый продукт проверяют на предмет:

- отсутствия тест-микрорганализма;
- достижения фактической летальности не ниже требуемой;

- соответствия готовой продукции требованиям промышленной стерильности;
- сохранения продуктом физико-химических и органолептических показателей, предусмотренных нормативной документацией [4].

При выполнении вышеперечисленных условий ориентировочный режим стерилизации пищевого продукта рекомендуется для производственной проверки.

На этапе производственной проверки производят выработку опытной партии в объеме не менее тысячи физических банок. После этого данную партию подвергают сплошному контролю, удаляя продукцию, имеющую дефекты, оформляют акт выработки опытной партии и закладывают ее на хранение в течение не менее трех месяцев в соответствии с условиями нормативной документации. По окончании хранения пробную партию проверяют аналогично требованиям этапа лабораторного испытания.

При выполнении необходимых условий промышленной стерильности и летальности происходят процедуры оформления, согласования и утверждения полученного режима для дальнейшего производственного использования [57].

3.2 Этап предварительного подбора режима стерилизации

Традиционно этап предварительного подбора нового режима стерилизации проходит по алгоритму, представленному на рисунке 3.1.

По справочным таблицам выбирают наиболее подходящий режим для пищевого продукта схожего по физико-химическим свойствам к тому, для которого разрабатывают новый процесс стерилизации. Далее проводят предварительную (тестовую) автоклавоварку, в процессе которой через определенные интервалы времени измеряют температуры греющей среды в штатном кармане стерилизационной камеры автоклава и продукта в наименее прогреваемой точке консервной банки, размещенной в наименее прогреваемом месте автоклава. Обычно инженеры-технологи МАУ используют интервал измерений равный пяти минутам.



Рисунок 3.1 – Алгоритм проведения этапа предварительного подбора нового режима стерилизации

По таблицам коэффициентов летальности и измеренным значениям температуры в консервной банке с продуктом находят соответствующие им переводные значения, начиная с 96 °С. Затем считают сумму произведений полученных коэффициентов и равновеликих интервалов времени измерения температур. Тем самым получают кумулятивное значение фактического стерилизующего эффекта процесса в условных минутах.

Для корректировки полученного режима обычно в одной координатной плоскости инженеры-технологи строят графики прогрева среды автоклава и банки с продуктом, а также изменения фактического стерилизующего эффекта в течении процесса стерилизации. По оси абсцисс откладывают время в минутах, по одной оси ординат – температуру в градусах Цельсия, по другой – коэффициенты летальности процесса стерилизации в условных минутах. После этого с помощью методов интерполяции или экстраполяции графиков (графическим или графоаналитическим способом) подбирают необходимый кумулятивный фактический стерилизующий эффект, тем самым выполняют корректировку продолжительности стерилизации продукта в сторону увеличения или уменьшения. Далее выполняют автоклавоварку с новыми параметрами режима и повторяют описанный выше алгоритм. Корректировка режима

происходит до достижения требуемого значения фактического летального эффекта.

Для того чтобы параметры условной формы записи режима на этапе предварительного подбора были утверждены для этапа лабораторной проверки необходимо провести от трех до пяти автоклавоварок. После этого составляют итоговую таблицу теплофизических исследований (рисунок 3.2) на базе этих автоклавоварок с необходимым средним значением фактической летальности процессов стерилизации.

Данные об изменении температур продукта и греющей среды в процессе стерилизации консервов "Печень трески по-мурмански" в банке 3 (230 г), стерилизованных по режиму $\frac{20-60-20}{115^{\circ}\text{C}}$ 0,14МПа стерилизация и охлаждение водой с противодавлением, в автоклаве "АВК-30М" и расчет $F_n = 5,6$ 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, $^{\circ}\text{C}$		F_1 , усл. мин.	Температура, $^{\circ}\text{C}$		F_2 , усл. мин.	Температура, $^{\circ}\text{C}$		F_3 , усл. мин.	Температура, $^{\circ}\text{C}$		F_4 , усл. мин.	Температура, $^{\circ}\text{C}$		F_5 , усл. мин.
	в автоклаве /эллаб	в банке		в автоклаве /эллаб	в банке		в автоклаве /эллаб	в банке		в автоклаве /эллаб	в банке		в автоклаве /эллаб	в банке	
0	60	2		60	4		60	4		60	4		60	4	
5	74	7		74	10,3		74	9,2		74	8,6		74	8,8	
10	87	18,4		87	23,3		87	20,9		87	19		87	19,5	
15	101	32,8		101	38,4		101	35,2		101	32,3		101	32,8	
20	115	48,3		115	53,9		115	50,5		115	46,7		115	47,2	
25	115	63,8		115	68,7		115	65,4		115	61,2		115	61,5	
30	115	77,2		115	81		115	78,3		115	73,9		115	74	
35	115	88	0,00	115	90,5	0,00	115	88,5	0,00	115	84,4		115	84,2	
40	115	96,2	0,01	115	97,5	0,01	115	96,2	0,01	115	92,6	0,00	115	92,2	0,00
45	115	102,2	0,04	115	102,6	0,06	115	101,9	0,04	115	98,8	0,02	115	98,2	0,02
50	115	106,4	0,16	115	106,2	0,17	115	105,9	0,15	115	103,3	0,07	115	102,7	0,06
55	115	109,4	0,41	115	108,8	0,39	115	108,8	0,36	115	106,7	0,20	115	106,1	0,18
60	115	111,4	0,84	115	110,6	0,76	115	110,7	0,74	115	109,1	0,45	115	108,5	0,39
65	115	112,7	1,47	115	111,9	1,28	115	112,1	1,28	115	110,8	0,84	115	110,3	0,74
70	115	113,6	2,28	115	112,8	1,95	115	113	1,99	115	112,1	1,39	115	111,6	1,22
75	115	114,1	3,22	115	113,4	2,75	115	113,6	2,83	115	112,9	2,08	115	112,5	1,85
80	115	114,4	4,26	115	113,9	3,66	115	114,1	3,78	115	113,5	2,90	115	113,2	2,61
85	97	114,2	5,34	97	113,5	4,61	97	113,8	4,77	97	113,5	3,80	97	113,2	3,44
90	80	111,6	6,14	80	110,4	5,27	80	111,1	5,51	80	111,2	4,51	80	110,9	4,10
95	62	105,9	6,47	62	103,9	5,50	62	105,3	5,80	62	106	4,82	62	105,6	4,39
100	45	97,4	6,54	45	94,6	5,54	45	96,6	5,86	45	98,1	4,90	45	97,6	4,46

$F_{\text{ср.}} = 5,5$ усл. мин.

Зав. кафедрой ТПП МГТУ

Гроховский В.А.

Зав. НИЛ каф. ТПП

Куранова Л.К.

Рисунок 3.2 – Итоговая таблица теплофизических исследований на этапе предварительного подбора

3.3 Классификация режимов стерилизации

Произведем классификацию режимов стерилизации пищевых продуктов в водной среде в вертикальном автоклаве периодического действия. Для этого рассмотрим их виды по признаку изменения температурного профиля греющей среды:

- традиционный;

- ступенчатый;
- «модернизированный»;
- переменный;
- кратковременный высокотемпературный;
- многоступенчатый;
- с использованием математической модели продукта.

Традиционный режим стерилизации пищевых продуктов (рисунок 3.3) был представлен ранее с использованием условной формы записи (1.1).

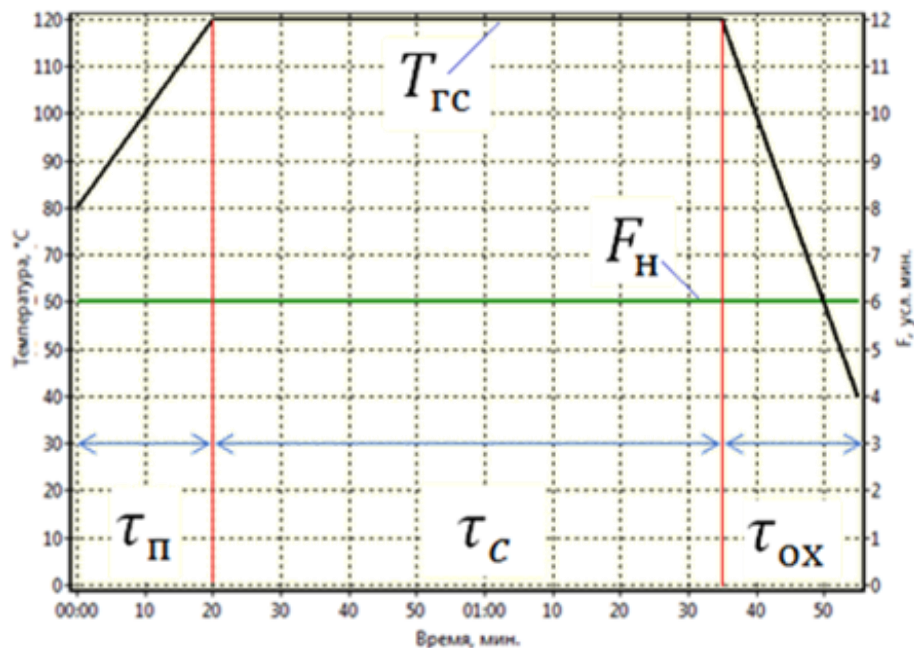


Рисунок 3.3 – Традиционный режим стерилизации пищевых продуктов

Ступенчатый режим стерилизации – это тепловая обработка, при которой процесс нагрева ускоряется за счет увеличения температуры процесса на десять градусов Цельсия выше указанной в условной форме записи (1.1) для традиционного режима, а после достижения максимального значения температура греющей среды в стерилизационной камере автоклава снижается до заданного уровня.

«Модернизированный» режим (рисунок 3.4) был разработан в Мурманском государственном техническом университете научно-исследовательской группой кафедры автоматики и вычислительной техники совместно с сотрудниками кафедры технологий пищевых производств в 2011 году (патент № RU2471387C1). «Модернизированный» способ термообработки продукции основан

на вычислении фактического стерилизующего эффекта и использовании его в качестве регулируемого параметра в системе автоматического управления процессом термообработки в автоклаве и условно может быть записан в следующем виде:

$$\frac{A1 - A2 - A3 - A4 - A5}{T1 - T2} P, L \quad (3.1)$$

где $A1$ – продолжительность подъема температуры до уровня $T1$, мин.;

$A2$ – продолжительность собственно процесса термообработки при температуре $T1$, мин.;

$A3$ – продолжительность снижения температуры от $T1$ до $T2$, мин.;

$A4$ – продолжительность собственно процесса термообработки при температуре $T2$, мин.;

$A5$ – продолжительность этапа охлаждения, мин.;

$T1$ – повышенная температура стерилизации, °С;

$T2$ – обычная температура стерилизации, °С;

L – фактический стерилизующий эффект, усл. мин.

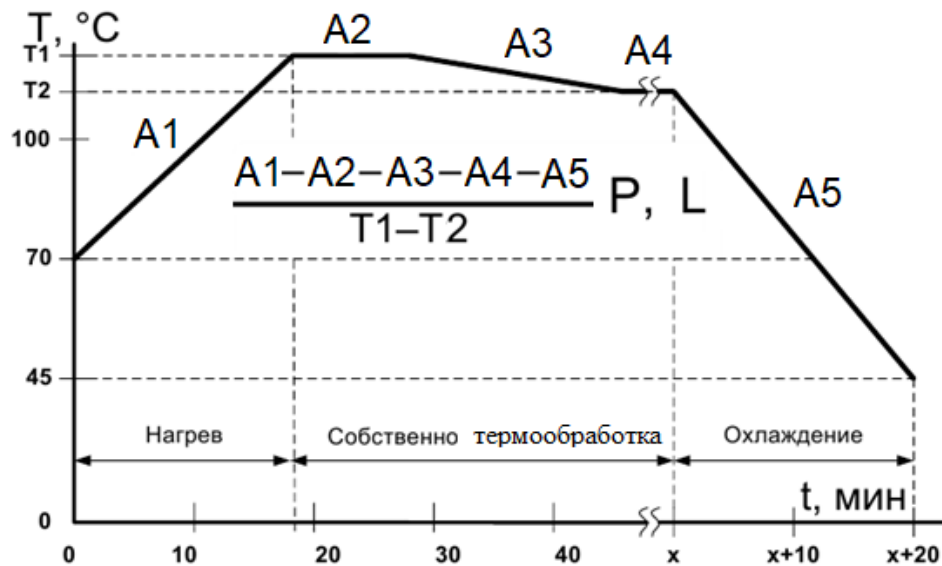


Рисунок 3.4 – Этапы процесса для «модернизированного» режима

Кратковременный высокотемпературный режим (High Temperature Short Time, HTST) осуществляют при температурах от 125 до 130 °С на протяжении всего процесса. Несмотря на кратковременность, он обеспечивает такой же стерилизующий эффект, как и при традиционном способе с продолжительностью

процесса на 30–40 процентов большей, чем при кратковременном высокотемпературном режиме.

Вариабельные режимы термообработки пищевых продуктов являются одним из перспективных направлений в области пищевой промышленности. Температура обработки пищевого продукта при таком режиме изменяется на протяжении всего процесса тепловой обработки (рисунок 3.5), а условная форма записи может иметь следующий вид:

$$\frac{X1-X2-X3}{f(T)}, \quad (3.2)$$

где $X1$ – продолжительность повышения температуры греющей среды автоклава до значения температуры, с которой начинается процесс тепловой обработки (не менее 100 °С для процессов стерилизации [77]), мин.;

$X2$ – продолжительность собственно процесса стерилизации или пастеризации, мин.;

$X3$ – продолжительность снижения температуры греющей среды автоклава от температуры окончания процесса стерилизации или пастеризации до заданной температуры, мин.;

$f(T)$ – зависимость температуры тепловой обработки, выраженная в виде функции от времени, на этапе $X2$ [78].

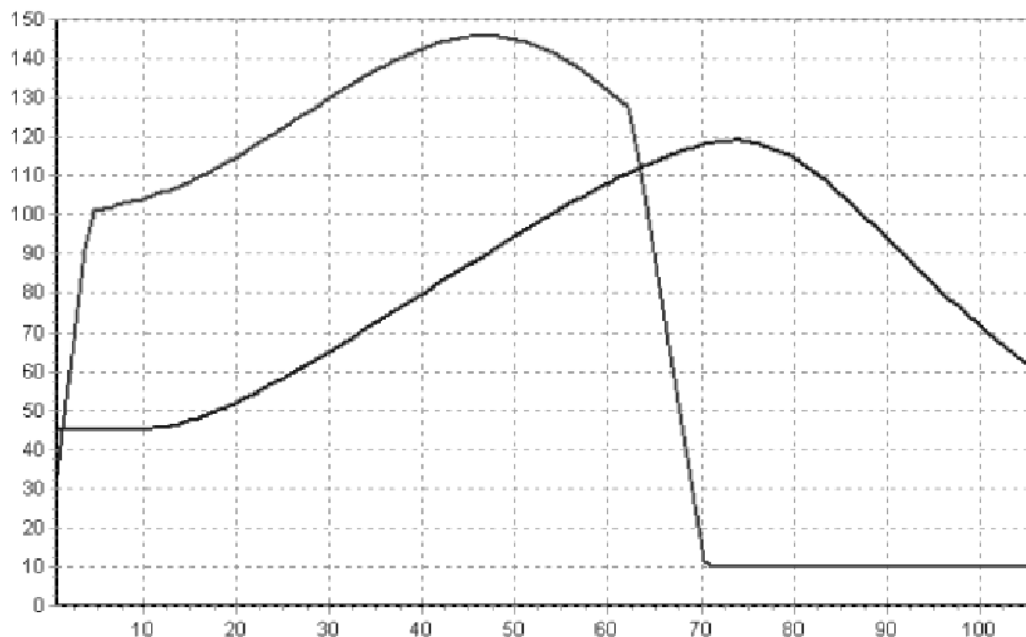


Рисунок 3.5 – Профиль вариабельного режима тепловой обработки [39]

Многоступенчатый режим стерилизации пищевых продуктов (рисунок 3.6) – это воссозданный с помощью программного обеспечения режим, полученный на основе данных о температурном профиле греющей среды стерилизационной камеры автоклава, измеренных через определенные интервалы времени при проведении реального процесса стерилизации пищевых продуктов. Такой режим трудно описать формулой, которая была бы адекватной и без нагромождений огромного количества чисел и знаков, но при этом его можно представить в виде таблицы (рисунок 3.7).

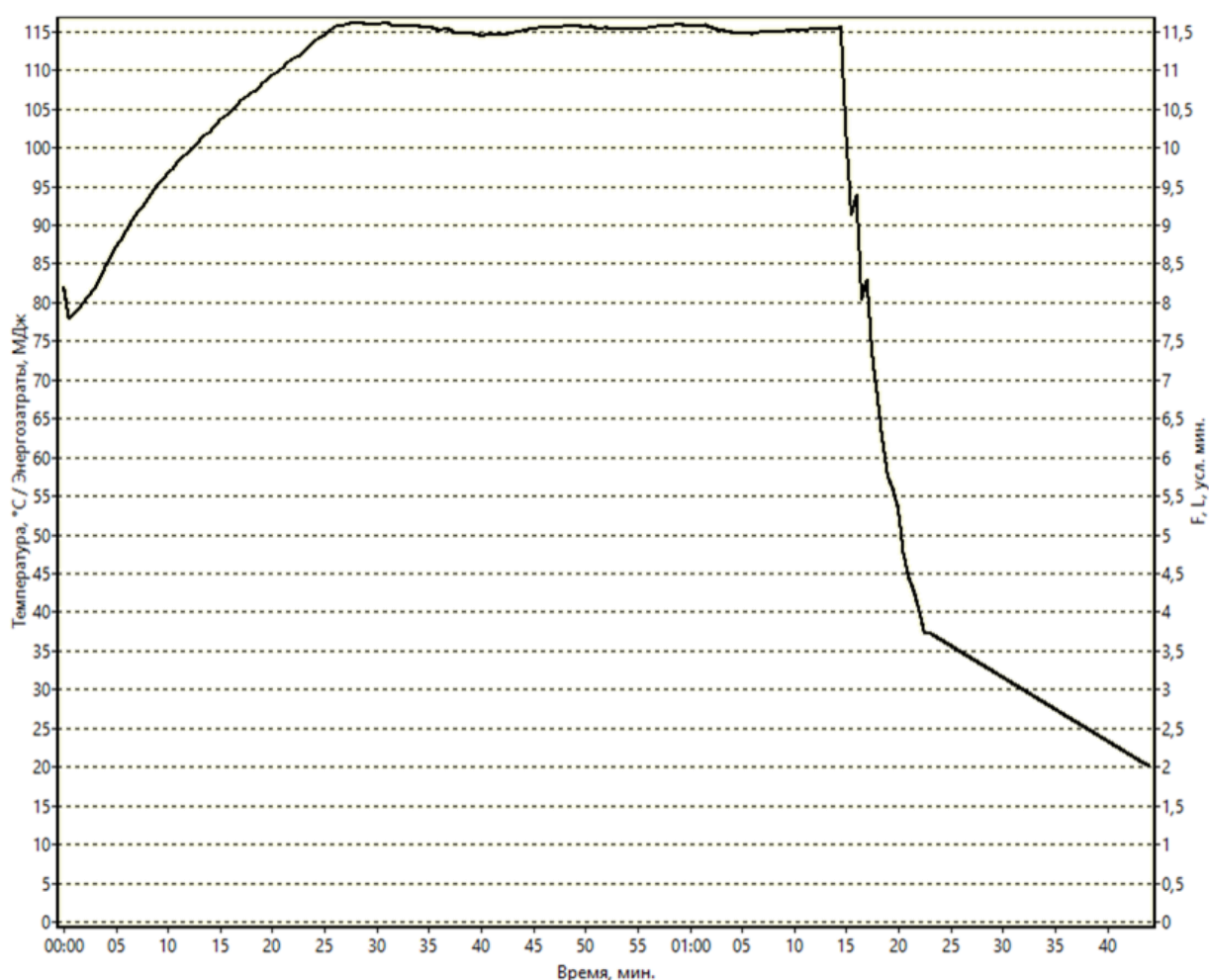


Рисунок 3.6 – Профиль многоступенчатого режима стерилизации

Этап	Время	Тнач.	Ткон.	35	0,5	106,03	106,45	70	0,5	115,42	115,41	105	0,5	115,32	115,21	140	0,5	114,96	114,98	175	0,5	33,86	33,45
1	0,5	82	77,78	36	0,5	106,45	106,97	71	0,5	115,41	115,26	106	0,5	115,21	115,21	141	0,5	114,98	114,99	176	0,5	33,45	33,04
2	0,5	77,78	78,49	37	0,5	106,97	107,26	72	0,5	115,26	115,03	107	0,5	115,21	115,16	142	0,5	114,99	115,08	177	0,5	33,04	32,63
3	0,5	78,49	79,18	38	0,5	107,26	108,14	73	0,5	115,03	115,21	108	0,5	115,16	115,19	143	0,5	115,08	115,12	178	0,5	32,63	32,22
4	0,5	79,18	80,04	39	0,5	108,14	108,74	74	0,5	115,21	115,08	109	0,5	115,19	115,16	144	0,5	115,12	115,16	179	0,5	32,22	31,81
5	0,5	80,04	80,92	40	0,5	108,74	109,25	75	0,5	115,08	114,62	110	0,5	115,16	115,15	145	0,5	115,16	115,2	180	0,5	31,81	31,4
6	0,5	80,92	81,71	41	0,5	109,25	109,63	76	0,5	114,62	114,69	111	0,5	115,15	115,19	146	0,5	115,2	115,21	181	0,5	31,4	30,99
7	0,5	81,71	83,09	42	0,5	109,63	110,21	77	0,5	114,69	114,57	112	0,5	115,19	115,32	147	0,5	115,21	115,25	182	0,5	30,99	30,58
8	0,5	83,09	84,48	43	0,5	110,21	110,94	78	0,5	114,57	114,61	113	0,5	115,32	115,42	148	0,5	115,25	115,28	183	0,5	30,58	30,17
9	0,5	84,48	85,74	44	0,5	110,94	111,43	79	0,5	114,61	114,48	114	0,5	115,42	115,58	149	0,5	115,28	115,33	184	0,5	30,17	29,76
10	0,5	85,74	87,08	45	0,5	111,43	111,65	80	0,5	114,48	114,32	115	0,5	115,58	115,61	150	0,5	115,33	101,69	185	0,5	29,76	29,35
11	0,5	87,08	87,95	46	0,5	111,65	112,19	81	0,5	114,32	114,4	116	0,5	115,61	115,62	151	0,5	101,69	91,13	186	0,5	29,35	28,94
12	0,5	87,95	89,15	47	0,5	112,19	113	82	0,5	114,4	114,41	117	0,5	115,62	115,69	152	0,5	91,13	93,79	187	0,5	28,94	28,53
13	0,5	89,15	90,36	48	0,5	113	113,69	83	0,5	114,41	114,45	118	0,5	115,69	115,75	153	0,5	93,79	80,28	188	0,5	28,53	28,12
14	0,5	90,36	91,4	49	0,5	113,69	114,09	84	0,5	114,45	114,44	119	0,5	115,75	115,65	154	0,5	80,28	82,93	189	0,5	28,12	27,71
15	0,5	91,4	92,11	50	0,5	114,09	114,38	85	0,5	114,44	114,53	120	0,5	115,65	115,67	155	0,5	82,93	73,15	190	0,5	27,71	27,3
16	0,5	92,11	93,06	51	0,5	114,38	115,05	86	0,5	114,53	114,69	121	0,5	115,67	115,61	156	0,5	73,15	67,68	191	0,5	27,3	26,89
17	0,5	93,06	94,08	52	0,5	115,05	115,49	87	0,5	114,69	114,86	122	0,5	115,61	115,63	157	0,5	67,68	61,95	192	0,5	26,89	26,48
18	0,5	94,08	95,15	53	0,5	115,49	115,55	88	0,5	114,86	114,98	123	0,5	115,63	115,69	158	0,5	61,95	57,35	193	0,5	26,48	26,07
19	0,5	95,15	95,68	54	0,5	115,55	115,8	89	0,5	114,98	115,13	124	0,5	115,69	115,36	159	0,5	57,35	55,7	194	0,5	26,07	25,66
20	0,5	95,68	96,62	55	0,5	115,8	115,91	90	0,5	115,13	115,23	125	0,5	115,36	115,13	160	0,5	55,7	53,23	195	0,5	25,66	25,25
21	0,5	96,62	97,2	56	0,5	115,91	115,92	91	0,5	115,23	115,34	126	0,5	115,13	114,99	161	0,5	53,23	47,37	196	0,5	25,25	24,84
22	0,5	97,2	98,23	57	0,5	115,92	115,9	92	0,5	115,34	115,38	127	0,5	114,99	114,87	162	0,5	47,37	44,35	197	0,5	24,84	24,43
23	0,5	98,23	98,79	58	0,5	115,9	115,84	93	0,5	115,38	115,41	128	0,5	114,87	114,71	163	0,5	44,35	42,54	198	0,5	24,43	24,02
24	0,5	98,79	99,29	59	0,5	115,84	115,83	94	0,5	115,41	115,41	129	0,5	114,71	114,65	164	0,5	42,54	40,12	199	0,5	24,02	23,61
25	0,5	99,29	99,95	60	0,5	115,83	115,84	95	0,5	115,41	115,45	130	0,5	114,65	114,61	165	0,5	40,12	37,14	200	0,5	23,61	23,2
26	0,5	99,95	100,78	61	0,5	115,84	115,88	96	0,5	115,45	115,53	131	0,5	114,61	114,59	166	0,5	37,14	37,14	201	0,5	23,2	22,79
27	0,5	100,78	101,51	62	0,5	115,88	115,96	97	0,5	115,53	115,63	132	0,5	114,59	114,54	167	0,5	37,14	36,73	202	0,5	22,79	22,38
28	0,5	101,51	101,88	63	0,5	115,96	115,59	98	0,5	115,63	115,61	133	0,5	114,54	114,73	168	0,5	36,73	36,32	203	0,5	22,38	21,97
29	0,5	101,88	102,69	64	0,5	115,59	115,66	99	0,5	115,61	115,49	134	0,5	114,73	114,83	169	0,5	36,32	35,91	204	0,5	21,97	21,56
30	0,5	102,69	103,53	65	0,5	115,66	115,65	100	0,5	115,49	115,45	135	0,5	114,83	114,9	170	0,5	35,91	35,5	205	0,5	21,56	21,15
31	0,5	103,53	104	66	0,5	115,65	115,59	101	0,5	115,45	115,51	136	0,5	114,9	114,87	171	0,5	35,5	35,09	206	0,5	21,15	20,74
32	0,5	104	104,52	67	0,5	115,59	115,62	102	0,5	115,51	115,28	137	0,5	114,87	114,88	172	0,5	35,09	34,68	207	0,5	20,74	20,33
33	0,5	104,52	105,15	68	0,5	115,62	115,51	103	0,5	115,28	115,29	138	0,5	114,88	114,92	173	0,5	34,68	34,27	208	0,5	20,33	20
34	0,5	105,15	106,03	69	0,5	115,51	115,42	104	0,5	115,29	115,32	139	0,5	114,92	114,96	174	0,5	34,27	33,86				

Рисунок 3.7 – Табличная форма записи многоступенчатого режима

Режим стерилизации пищевых продуктов с использованием математической модели продукта был разработан в Мурманском государственном техническом университете кафедрами автоматике и вычислительной техники и технологий пищевых производств в 2022 году (патент № RU2789344C1) [79]. Предложенный способ будет представлен в пункте 3.5.

3.4 Экономичная методика разработки и ее модернизация

Основными недостатками алгоритма проведения этапа предварительного подбора разработки нового режима стерилизации пищевого продукта являются большие временные и материальные затраты на проведение всего этапа. Поэтому главной задачей совершенствования этапа является снижение затрат на проведение предварительного подбора режима.

В 2015 году кафедрами АиВТ и ТПП МГТУ в рамках научно-исследовательской работы, основанием для проведения которой стала заявка на разработку новых режимов стерилизации консервной продукции в автоклавах

типа АСКАМАТ-230 на рыбоперерабатывающих судах от региональных предприятий Мурманской области, была разработана экономичная методика предварительного подбора режима стерилизации пищевых продуктов для промышленных автоклавов без их непосредственного использования ввиду экономической нецелесообразности или в силу других причин.

Экономичная методика основана на использовании математического моделирования процесса совместно с лабораторным автоклавом АВК-30М малого объема.

Применение методики происходит в два этапа.

На первом этапе проводится перенастройка алгоритмов работы микропроцессорной системы управления, установленной в стерилизационной установке АВК-30М, с целью реализации продолжительности этапов режима стерилизации промышленного автоклава в соответствии с заданием.

На втором этапе используется разработанное программное обеспечение PRSC. Если желаемый фактический стерилизующий эффект достигнут, то часть реальных автоклавоварок на этапе предварительного подбора режима стерилизации можно заменить на результаты численного математического моделирования.

Предложенная экономичная методика была апробирована в экспериментальных исследованиях при разработке режима стерилизации консервов «Печень трески по-мурмански» в жестяной круглой консервной банке №3 для промышленных автоклавов типа АСКАМАТ-230.

По итогам экспериментальных исследований были получены следующие результаты использования экономичной методики [80]:

– температура среды внутри стерилизационной камеры лабораторного автоклава достигает заданного значения в 115 °С за 25-27 минут, что соответствует динамике нагрева греющей среды промышленного автоклава типа АСКАМАТ-230;

– после 70 °С разность температур в наименее прогреваемых точках стерилизуемых консервных банок с продуктом в автоклавах не превышает одного процента;

– на начальном отрезке этапа охлаждения (2-3 минуты) разность температур греющих сред стерилизационных камер автоклавов составляет около одного процента из-за особенностей работы аппаратов;

– разность температур греющих сред стерилизационных камер автоклавов на завершающем отрезке этапа охлаждения (порядка 5-7 минут) не оказывает существенного влияния на конечное значение фактического стерилизующего эффекта;

– отклонение фактических стерилизующих эффектов процессов стерилизации исследуемых автоклавов составляет не более трех процентов;

– по затратам электроэнергии на проведение одной автоклавоварки по одинаковому режиму лабораторный автоклав эффективнее промышленного в семь раз;

– возможность сокращения количества пробных автоклавоварок на половину;

– снижение затрат для одного процесса стерилизации на этапе предварительного подбора режима стерилизации с использованием лабораторного автоклава по электроэнергии достигает 85 процентов, по расходу сырья составляет порядка 90 процентов.

По результатам экспериментального исследования был сделан вывод о необходимости модернизации полученной методики в двух направлениях:

– создание имитационной модели промышленного автоклава;

– замена большей части или всех реальных тестовых автоклавоварок результатами моделирования.

В 2022 году была получена модернизированная экономичная методика [81], в которой можно выделить две основные особенности:

1) построение имитационной модели промышленного автоклава на основе лабораторного автоклава АВК-30М, повторяющей в достаточной степени точности динамику температуры среды в стерилизационной камере;

2) моделирование в программном обеспечении процесса тепловой обработки с использованием адекватных математических моделей промышленного автоклава и продукта для замены большей части тестовых процессов, проводимых на реальном оборудовании.

Рассмотрим детально особенности модернизированной методики.

Первой отличительной особенностью модернизированной методики является достижение с достаточной степенью точности динамики температуры среды в стерилизационной камере лабораторного автоклава аналогичной динамике температуры среды промышленного автоклава. Это происходит за счет реализации программных алгоритмов системы управления лабораторным автоклавом АВК-30М, которые позволяют изменять температурный профиль стерилизационной камеры в программируемом логическом контроллере.

На основе экспериментальных данных рассчитаны средние скорости изменения температуры среды в исследуемых автоклавах. Скорость изменения температуры среды стерилизационной камеры лабораторного автоклава составляет в среднем $1,2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}$ на этапе нагрева, на этапе охлаждения – $10 \text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}$ (максимум $20 \text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}$). Усредненные показатели у промышленного автоклава типа АСКМАТ-230 получились на этапе нагрева – $1 \text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}$, на этапе охлаждения – $15 \text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}$.

Поскольку скорость изменения температуры греющей среды стерилизационной камеры лабораторного автоклава больше, то изменив алгоритм работы системы автоматического управления, можно скорректировать динамику АВК-30М так, чтобы она практически совпадала с динамикой промышленного автоклава типа АСКМАТ-230.

Второй особенностью является снижение количества пробных тестовых автоклавоварок с помощью разработанного программного комплекса TPM&PRSC. Его применение позволяет подбирать параметры режима

стерилизации консервов с использованием адекватных математических моделей продукта, уменьшив тем самым количество пробных процессов стерилизации в лабораторном автоклаве до 1-2.

Модернизированная экономичная методика разработки режима стерилизации консервов для промышленного автоклава на этапе предварительного подбора позволяет сократить потребление электроэнергии и расхода сырья до 95 процентов на один цикл. Сравнение затрат электроэнергии и сырья при применении различных методик разработки режима на этапе предварительного подбора представлено в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Сравнение затрат для различных методик

Методика разработки режима	Затраты на одну автоклавоварку		Затраты на этапе предварительного подбора	
	Электроэнергия, %	Сырье, %	Электроэнергия, %	Сырье, %
Стандартная	100	100	100	100
Экономичная	15	10	15	10
Модернизированная экономичная	12	10	5-7	5-6

Основной сложностью повсеместной реализации модернизированной экономичной методики остается наличие корректного температурного профиля автоклава, для которого подбирается режим, ввиду неоднородности температурного поля в стерилизационных камерах промышленных автоклавов при нагреве и охлаждении водной среды в процессе стерилизации пищевых продуктов (п. 2.6).

Используя модернизированную экономичную методику, можно реализовать только традиционный или ступенчатый режим стерилизации ввиду отсутствия специально разработанного регулятора для системы управления лабораторным автоклавом.

Модернизированная экономичная методика позволит рыбопромышленным предприятиям повысить свою эффективность в рамках концепции бережливого производства.

Дальнейшее совершенствование модернизированной экономичной методики возможно с применением переменных режимов (рисунок 3.5), которые могут 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 [52].

3.5 Прогнозирование F-эффекта при управлении процессом стерилизации пищевых продуктов

За прототип принят способ управления процессом стерилизации консервов, основанный на F-эффекте (патент на изобретение RU2471387C1), который позволяет сократить процесс стерилизации по времени, тем самым повысив его эффективность [18].

Новый способ стерилизации [79] пищевых продуктов с использованием математической модели продукта (патент на изобретение RU2789344C1) предусматривает: определение прогнозируемого значения F-эффекта процесса пастеризации или стерилизации консервов при помощи измерения температуры среды автоклава датчиком и математического моделирования динамики температуры пищевого продукта в консервной таре (виртуальный датчик продукта); вычисление разности между прогнозируемым фактическим значением и заданным значением эффекта стерилизации. В зависимости от этой разности осуществляют термообработку продукта до достижения прогнозируемым значением фактической летальности заданного значения, после чего выполняют этап охлаждения консервов согласно режиму.

Предлагаемый способ тепловой обработки основан на использовании сочетания традиционного, ступенчатого и «модернизированного» режимов и обладает следующими свойствами:

- физически производится только измерение температуры греющей среды стерилизационной камеры автоклава;
- формула записи не отличается от традиционного режима;
- прогнозируемое значение фактического стерилизующего эффекта процесса стерилизации рассчитывается на основе температуры продукта, полученной с использованием имитационной математической модели, и текущей температуры греющей среды;
- время этапа A1 и температура начала этапа A2 могут быть увеличены для уменьшения времени тепловой обработки A2 при условии, что температура пищевого продукта не превышает заданную температуру термообработки на этапе A2;
- на этапе A2 может происходить естественное охлаждение среды в стерилизационной камере без дополнительных энергозатрат, поэтому этапы A3 и A4 могут быть исключены из процесса стерилизации;
- продолжительность этапа A2 может быть уменьшена, при достижении прогнозируемым значением F-эффекта заданного значения без учета этапа A5 за меньшее время, или увеличено в противоположном случае.

В новом способе управления процессом тепловой обработки консервов определяют прогнозируемое значение фактической летальности процесса $F_{\text{факт}}^{\text{п}}$ на основе температуры среды и имитационной модели.

В режиме реального времени вычисляется значение $F_{\text{факт}}^{\text{п}}$:

$$F_{\text{факт}}^{\text{п}}(\tau, T_{\text{п}}) = \int_0^{\tau_{\text{кон}}} 10^{\frac{T_{\text{п}}(\tau) - T_0}{z}} d\tau, \quad (3.3)$$

где $\tau_{\text{кон}}$ – время окончания процесса, мин;

$T_{\text{п}}(\tau)$ – временная зависимость температуры продукта в наименее прогреваемой точке консервной тары;

z – константа термоустойчивости микроорганизмов;

T_0 – температура, принятая в качестве базисной для процесса термообработки, °C (121,1 °C – для стерилизации).

Достоверность прогнозируемого значения $F_{\text{факт}}^{\text{п}}$ обеспечивается проработкой и адекватностью математической модели, используемых методик, базирующихся на теории автоматического управления.

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

$$F_{\text{задан}} = (F_{\text{н}} + \Delta F) - F_{\text{ох}}, \quad (3.4)$$

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.

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

$$E = F_{\text{задан}} - F_{\text{факт}}^{\text{п}}. \quad (3.5)$$

Рассмотрим пример процесса стерилизации продукта в водной среде согласно режиму, записанному с помощью условной формы записи (1.1):

$$\frac{25 - 70 - 20}{115} \text{ 0,2 МПа, 4,8 усл. мин.}$$

Для начала рассчитаем $F_{\text{н}}$ по формуле (1.2) с учетом начальных данных $D_T=0,65$ мин., $C_0=1$ клетка на 1 см^3 , $V=250 \text{ см}^3$, $x=2$ и $S=0,1 \%$:

$$F_{\text{н}} = 0,65 \cdot \left(\lg \frac{1 \cdot 250 \cdot 100}{0,1} + 2 \right) = 4,8 \text{ усл. мин.}$$

Для учета неравномерности температурного поля автоклава расчетный F-эффект режима стерилизации дополнительно увеличивают на 10 процентов от $F_{\text{н}}$ [5].

Если точность приборов, регистрирующих температуру стерилизации в производственных условиях, составляет $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$, то учитывают разброс величины фактического стерилизующего эффекта составляет 25,28 процентов от $F_{\text{н}}$ при температурном параметре термоустойчивости тест-микроорганизма равном 10 [5].

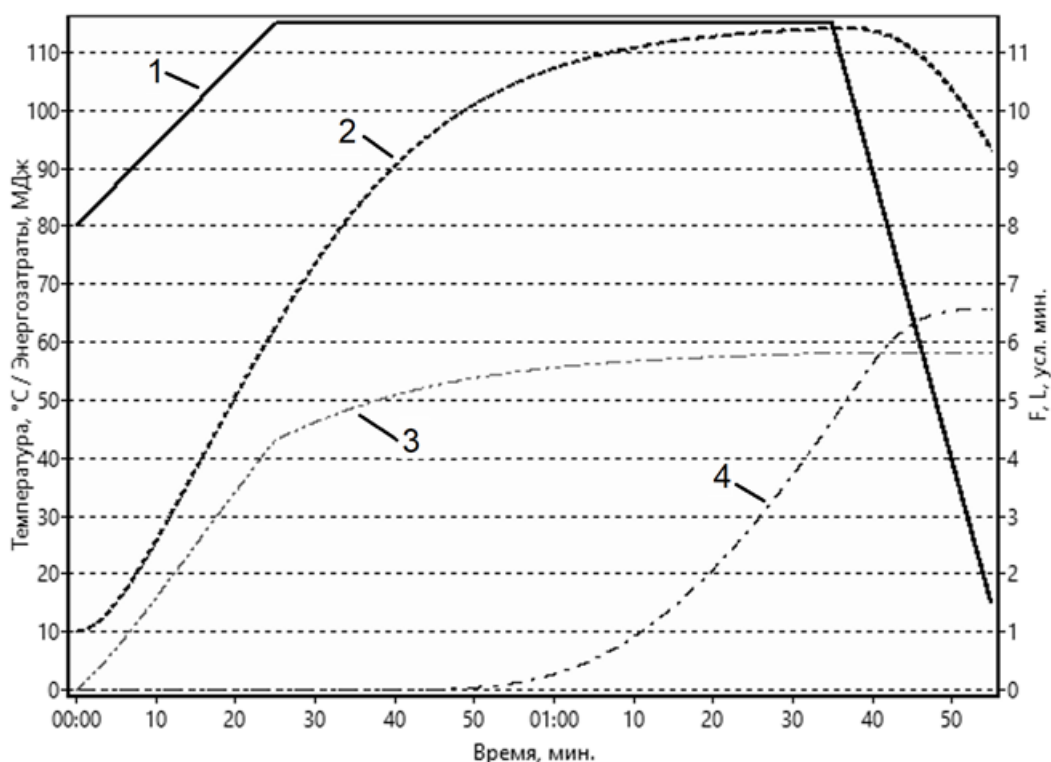
Вычислим ΔF :

$$\Delta F = (25,28+10)/100 \cdot F_n = \frac{35,28 \cdot 4,81}{100} = 1,7 \text{ усл. мин.}$$

Тогда расчетный параметр $F_{\text{задан}}$, согласно формуле (3.4), составляет:

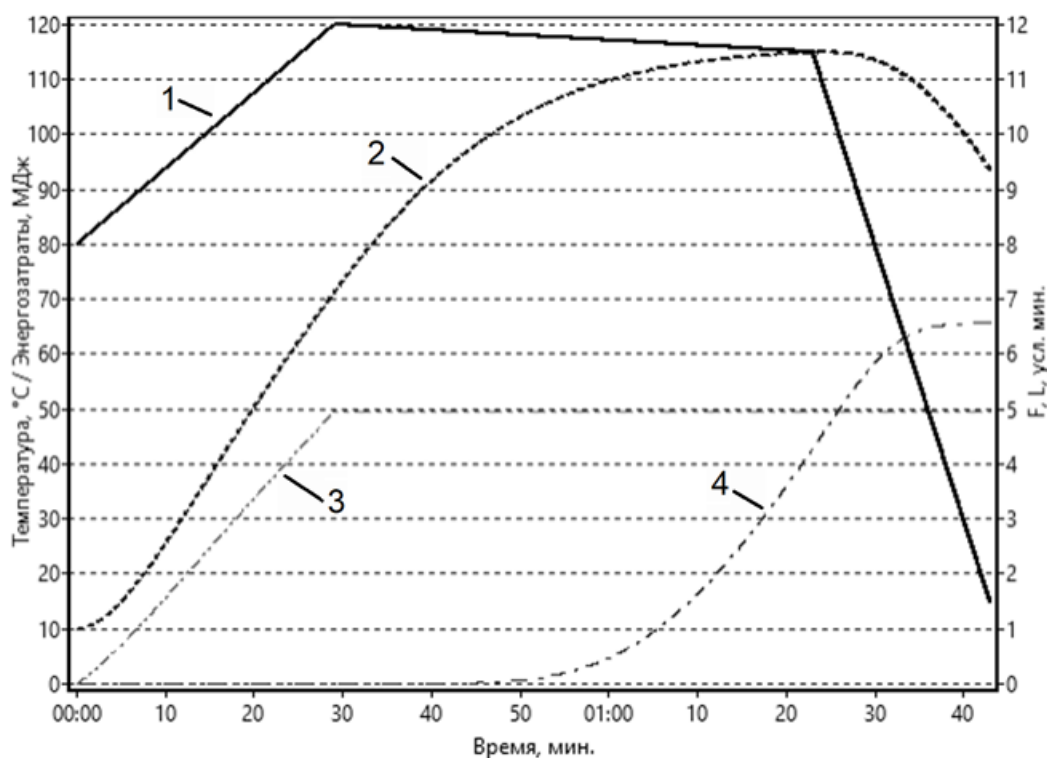
$$F_{\text{задан}} = 4,8 + 1,7 = 6,5 \text{ усл. мин.}$$

Для проведения процессов стерилизации водная среда в автоклаве была предварительно прогрета до 80 °С. В результате были получены кривые температур в стерилизационной камере и консервной таре с продуктом, фактического стерилизующего эффекта и энергозатрат при проведении процессов тепловой обработки по традиционному способу (рисунок 3.9) и по предлагаемому способу управления тепловой обработкой консервов, основанному на прогнозировании F-эффекта (рисунок 3.10).



1 – температура в стерилизационной камере автоклава, °С; 2 – температура в консервной таре с продуктом, °С;
3 – энергозатраты при проведении процесса, МДж; 4 – фактический стерилизующий эффект, усл. мин.

Рисунок 3.9 – Традиционный режим стерилизации продукта [79]

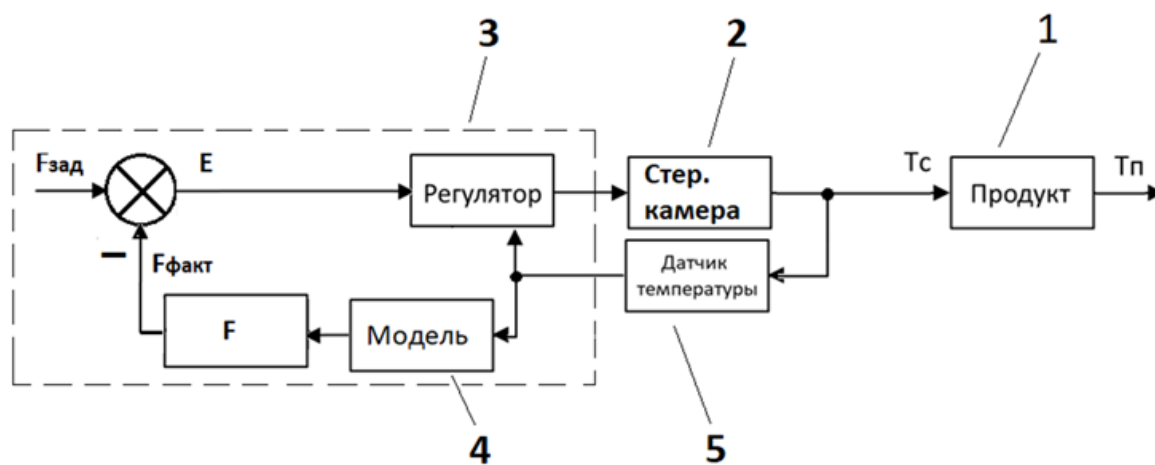


1 – температура в стерилизационной камере автоклава, °C; 2 – температура в консервной таре с продуктом, °C;
3 – энергозатраты при проведении процесса, МДж; 4 – фактический стерилизующий эффект, усл. мин.

Рисунок 3.10 – Режим стерилизации, основанный на прогнозировании F-эффекта с использованием математической модели продукта [79]

Процесс стерилизации в водной среде по предлагаемому способу отличается от традиционного тем, что время этапа тепловой обработки A2 уменьшилось до 54 минут, при этом время нагрева A1 и температура начала этапа A2 увеличились до 29 минут и 120 °C соответственно. Предлагаемый способ позволит сократить энергетические затраты на процесс не менее 8 МДж (2,2 кВт·ч) или 14 процентов по сравнению с традиционным способом проведения стерилизации пищевых продуктов.

Новый способ стерилизации пищевых продуктов осуществляется по представленной на рисунке 3.11 структурно-функциональной схеме управления процессом.



1 – консервная тара с продуктом, 2 – стерилизационная камера автоклава,
3 – управляющая вычислительная машина, 4 – математическая модель продукта,
5 – датчик температуры среды автоклава

Рисунок 3.11 – Структурно-функциональная схема управления процессом стерилизации пищевых продуктов

Идентификацию параметров математической модели продукта в консервной таре 1 проводят предварительно по его переходной характеристике, которую получают экспериментально в наименее прогреваемой точке продукта в таре, расположенной в наименее прогреваемой области автоклава, или они могут быть взяты из научных публикаций по результатам исследований, проводимых по данной тематике.

Управление процессом тепловой обработки осуществляют с помощью управляющей вычислительной машины 3. Вводятся параметры математической модели 4 продукта в консервной таре и заданное значение $F_{\text{зад}}$ летальности процесса, которое необходимо достигнуть. В соответствии с режимом тепловой обработки выполняется настройка выбранного пользователем типа и (или) структуры регулятора.

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 T_c регулятор численно решает дифференциальное уравнение математической модели продукта 4 в таре и с использованием виртуального датчика продукта определяет его температурную динамику T_p .

В результате применения нового способа, можно повысить эффективность процесса тепловой обработки на 15-20 процентов в сравнении с традиционным способом 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;
- на выработку бракованной продукции при внезапном прекращении подачи теплоносителя за счет возможности повторного проведения процесса до достижения значения эффекта тепловой обработки $F_{\text{задан}}$ с учетом ранее полученного прогнозируемого значения $F_{\text{факт}}^{\text{п}}$ на основе температуры среды и математической модели.

3.6 Цифровой двойник автоклава

С введением в 2021 году ГОСТ 57700.37-2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения» популярным направлением развития научных исследований стало создание цифровых двойников изделия – систем, состоящих из цифровой модели изделия и двусторонних информационных связей (рисунок 3.12) с изделием (при наличии изделия). Они разрабатываются, применяются и изменяются на всех стадиях жизненного цикла изделия.

С целью создания полноценного цифрового двойника автоклава в разработанное ранее на кафедре АиВТ МАУ программное обеспечение компьютерного моделирования «Модель автоклава для тренажера процесса стерилизации» [82] (свидетельство №2015663349 от 16.12.2015 г.) была добавлена подсистема связи для образования двусторонней информационной связи. Для этого было добавлено соединение программы по протоколу Modbus-RTU через интерфейс RS-485 (на ПК с использованием преобразователя интерфейсов USB–

RS-485) с промышленным контроллером СПК-107, получающим данные о текущем состоянии объекта управления – промышленном автоклаве.

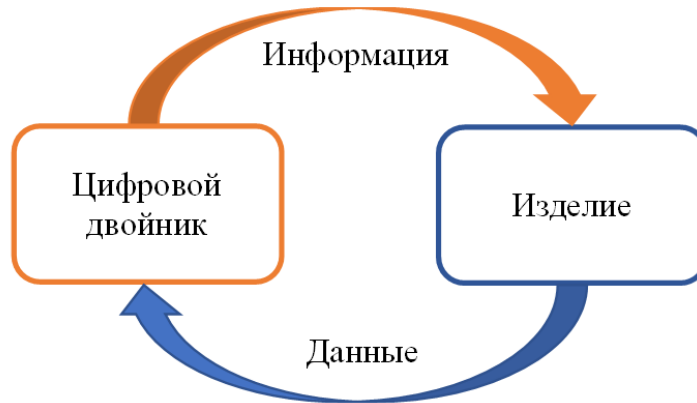


Рисунок 3.12 – Двусторонние информационные связи

Внешний вид вкладки настройки параметров соединения (выбор порта, скорость соединения, количество битов данных и стоп-битов, бит паритета) программы с СПК-107 представлен на рисунке 3.13.

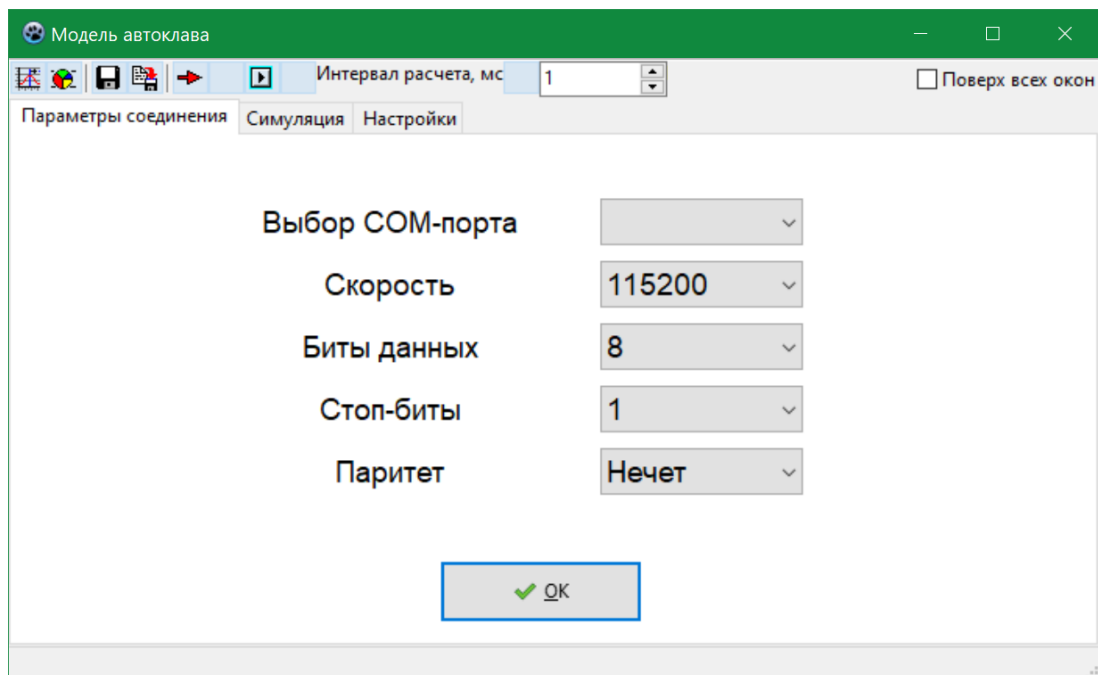


Рисунок 3.13 – Окно настройки параметров соединения

По двусторонним информационным связям передаются следующие данные:

1. от программы к СПК-107:

а) сигналы о проценте заполнения автоклава водой и достижении верхнего уровня, срабатывании подрывного клапана в модельном автоклаве при отсутствии реального;

б) сигнал о готовности магистралей подачи воды, пара, воздуха и спуска;

в) сигнал о состоянии крышки автоклава (закрыта/открыта);

г) расчетные значения с виртуальных датчиков температуры и давления греющей среды стерилизационной камеры модельного автоклава при отсутствии реального;

2. от СПК-107 к программе:

а) состояние клапанов подачи воды, воздуха, пара, спуска и слива, а также сигнал о верхнем уровне воды при наличии реального автоклава;

б) сигнал для запуска моделирования работы автоклава;

в) полученные с датчиков значения температуры и давления греющей среды стерилизационной камеры реального автоклава при его наличии.

В результате описанных выше преобразований программное обеспечение компьютерного моделирования «Модель автоклава для тренажера процесса стерилизации» можно использовать в качестве цифрового двойника автоклава.

3.7 Автоматизированная система научных исследований

3.7.1 Понятие и структура АСНИ

АСНИ – программно-аппаратный комплекс на базе средств вычислительной техники, предназначенный для проведения научных исследований или комплексных испытаний образцов новой техники на основе получения и использования моделей исследуемых объектов, явлений и процессов [83].

Основными звеньями АСНИ являются подсистемы и средства обеспечения.

Различают объектные и обслуживающие подсистемы АСНИ.

Объектная подсистема необходима для получения и обработки экспериментальных данных с исследуемого объекта. Обслуживающая подсистема АСНИ управляет и обрабатывает информацию вне зависимости от особенностей изучаемого объекта или процесса.

Средствами обеспечения АСНИ являются компоненты, состоящие из следующего обеспечения:

– информационного (база данных АСНИ, которая хранит априорную информацию),

- методического (сведения как использовать априорную информацию и методология исследований),
- программного (компьютерные программы и документы для их функционирования),
- технического (устройства, обеспечивающие функционирование подсистем АСНИ)
- организационно-правового (документы по взаимодействию подразделений при создании, эксплуатации и развитии АСНИ).

Структура АСНИ может быть изображена в общепринятом (рисунок 3.14) или альтернативном виде (рисунок 3.15).

Автоматизированная система научных исследований (АСНИ)

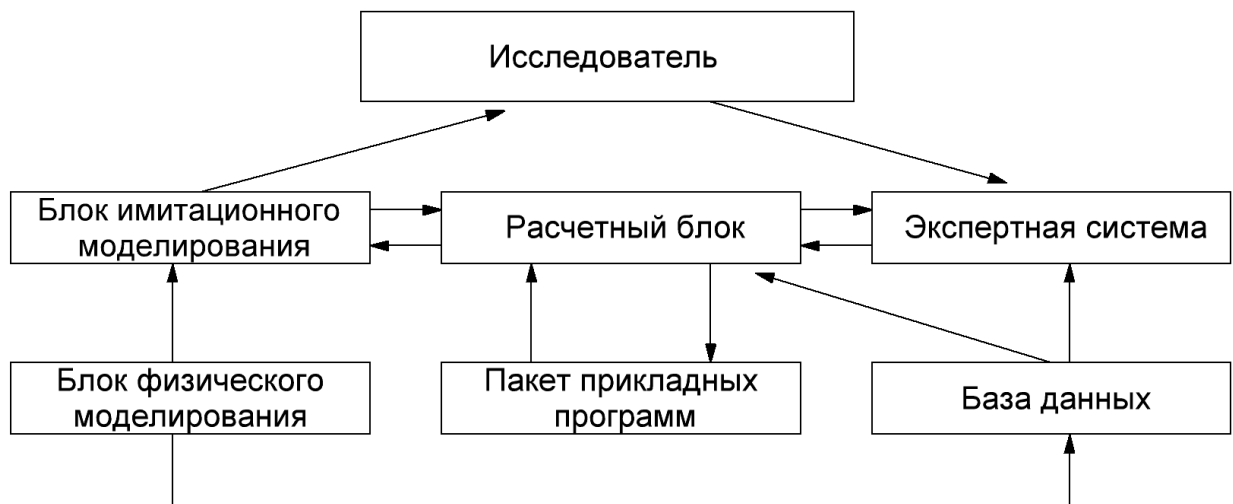


Рисунок 3.14 – Общепринятый вид структуры АСНИ

На рисунке 3.15 АСНИ представлена в виде модели «черного ящика». Входными параметрами АСНИ являются законы, нормативные документы, знания, а также существующие проблемы. Для функционирования АСНИ необходимо применение методологии, концепций, исследований и программ исследований. Выходами АСНИ являются: теоретические сведения, знания, а также решения проблем. На стадии исследования происходит коррекция входных параметров АСНИ исследователем.

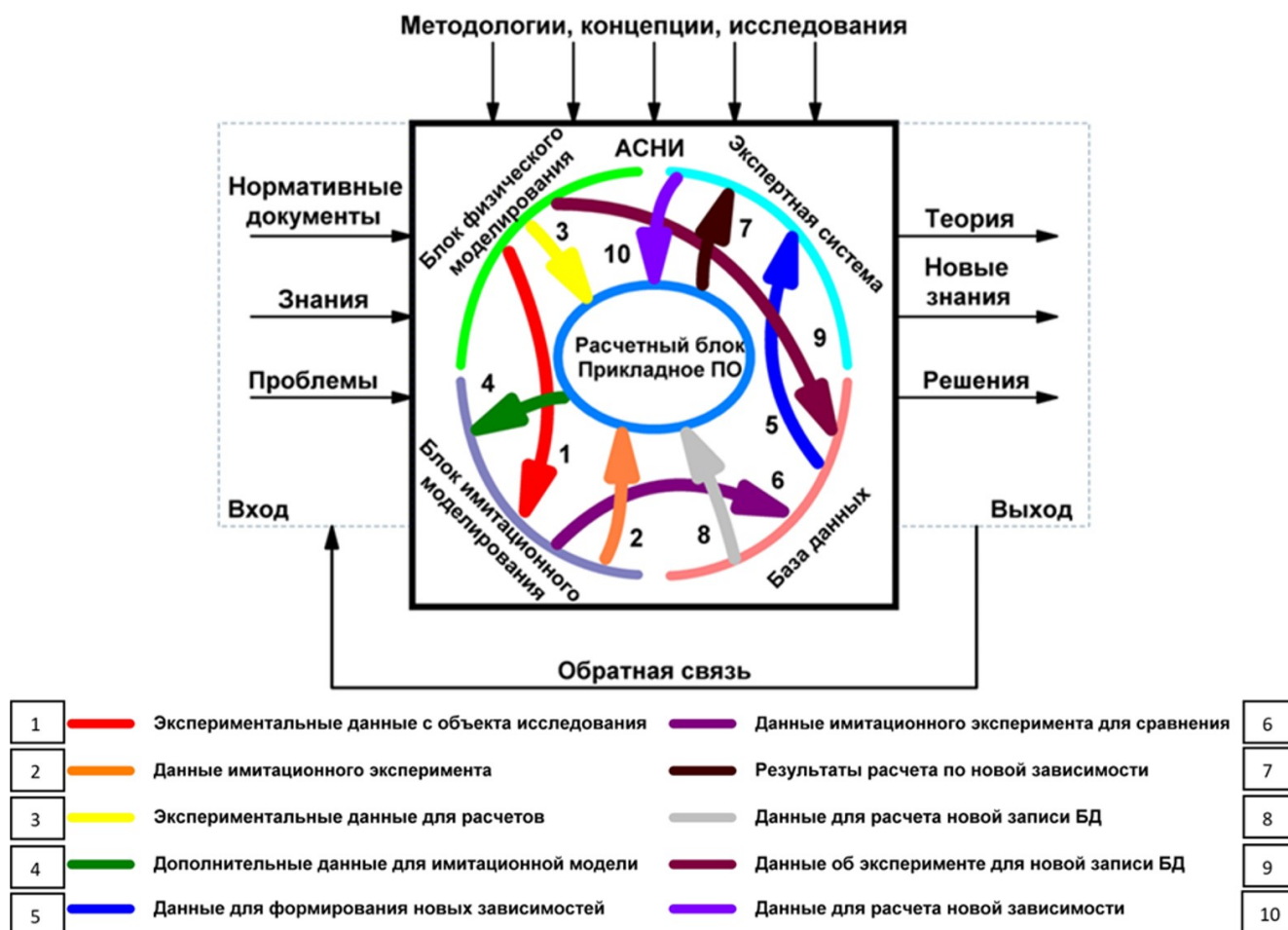


Рисунок 3.15 – Альтернативный вид структуры АСНИ

Внутри модели показаны взаимосвязи между основными компонентами: базой данных, блоками физического и имитационного моделирования и экспертной системой. На рисунке цветными стрелками показаны информационные потоки между моделями. Реальные экспериментальные данные 3 поступают в блок расчета. Информационный поток 1 характеризует информацию, переданную для коррекции имитационной модели объекта физического моделирования. Применение математического моделирования позволяет дополнить расчетный блок результатами численного моделирования режимов, состояний и ситуаций, которые физическая модель не позволяет реализовать в силу конструкционных, энергетических и иных ограничений. Данные из имитационной модели (автоклава) 2, и базы данных 8 поступают в расчетный блок АСНИ. Для верификации и валидации имитационной модели значения численного моделирования сравниваются с значениями с реальных

данных экспериментов и позволяют скорректировать имитационную модель 4. Результаты расчета поступают в экспертную систему 7. Аналитический блок экспертной системы позволяет подготовить данные для коррекции существующих режимов 10 на основании базы данных 5. База данных формируется по результатам реального физического моделирования 9 и имитационного моделирования 6.

Применение АСНИ позволяет проводить комплексные исследования: собирать, анализировать данные, прогнозировать эффект проведения режимов процессов стерилизации при изменении продуктов и стерилизационных аппаратов, а также внешних случайных воздействий при проведении процесса. Реализация АСНИ позволяет получить полноценный цифровой (виртуальный) испытательный полигон для отработки режимов стерилизации консервов.

Представим двустороннюю связь в обобщенном виде для АСНИ и цифрового двойника (ЦД) изделия (рисунок 3.16).

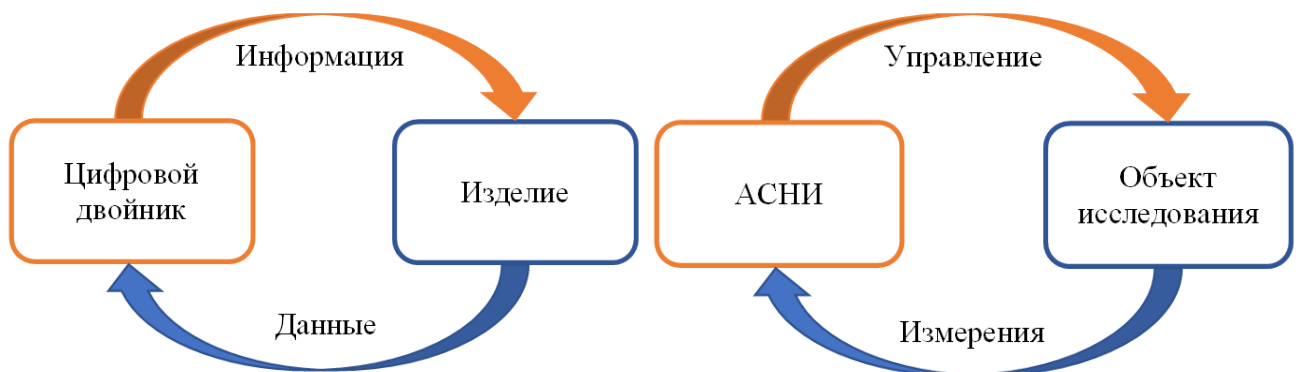


Рисунок 3.16 – Представление двусторонней связи в ЦД изделия и АСНИ

Как видно структуры АСНИ и ЦД похожи в плане передачи данных от реальной среды (объектов исследования или изделий) в цифровое пространство. Однако ЦД передает обратно лишь информацию необходимую для принятия решения и формирования управляющих воздействий. В тоже время обслуживающая подсистема АСНИ помимо предоставления информации позволяет напрямую управлять объектом исследования. Исходя из этого, будем считать, что цифровой двойник изделия можно по умолчанию включить в состав АСНИ.

3.7.2 Разработка АСНИ процессов стерилизации

Решением проблемы создания АСНИ, в рамках технологии пищевых производств, более десяти лет занимаются сотрудники кафедры АиВТ МАУ. За это время наибольшие успехи в направлении разработки АСНИ были достигнуты для процессов стерилизации пищевых продуктов из гидробионтов.

Для реализации АСНИ на кафедре АиВТ МАУ можно выделить наличие следующих компонентов.

Объектная подсистема для считывания первичной информации состоит из систем автоматического управления (САУ) процессом стерилизации пищевых продуктов для стерилизационных установок (автоклавов АВК-30М, АСКАМАТ-230 и Н2-ИТА602) и датчиков (логгеров) температуры и давления.

В качестве обслуживающих подсистем АСНИ можно выделить следующие:

- подсистема численного математического моделирования (универсальные математические методы подбора, оптимизации и расчета процессов);
- подсистема ввода и вывода графической информации в созданных программных комплексах и САУ;
- подсистема создания документов о теплофизическом исследовании.

Средства обеспечения для создаваемой АСНИ процессов стерилизации пищевых продуктов из гидробионтов на данный момент составляют компоненты методического и технического (аппаратного), а также частично программного и организационно-правового обеспечения.

Методическое обеспечение будущей АСНИ состоит из:

- существующих методик исследования температурного поля автоклава, подбора режимов стерилизации и их утверждения;
- инструкций и руководств по использованию лабораторной стерилизационной установки АВК-30М, автоклавов АСКАМАТ-230 и Н2-ИТА602 при стерилизации консервов в водной среде;
- математического обеспечения по подбору моделей процесса и параметров режимов стерилизации консервов.

Техническое обеспечение создаваемой АСНИ образуют:

– установленное промышленное оборудование для автоматизации фирмы «ОВЕН» (промышленные логические и сенсорные панельные контроллеры, устройства сбора и обработки аналоговых и дискретных сигналов, устройства ввода/вывода сигналов);

– запатентованная стерилизационная установка АВК-30М, промышленные автоклавы АСКАМАТ-230 и Н2-ИТА602;

– логгеры-датчики температуры Ellab TrackSense PRO и Thermochron iButton серии DS1922;

– персональные компьютеры для обработки измеренных данных;

– средства измерения и регулирования (аналоговые и цифровые приборы, электромагнитные клапаны).

Программное обеспечение (ПО) будущей АСНИ включает в себя:

– специальное ПО от производителя для логгеров-датчиков температуры;

– разработанное на кафедре АиВТ ПО для подбора моделей процесса и параметров режима стерилизации консервов;

– ПО для разработки САУ стерилизационных установок и их графических интерфейсов пользователя;

– ПО для тренажера процесса стерилизации и его САУ;

– существующие руководства пользователя и инструкции по использованию ПО.

Организационно-правовое обеспечение АСНИ состоит из научных отчетов о проведении исследований и внедрении режимов стерилизации пищевых продуктов из гидробионтов.

С учетом наличия вышеперечисленных компонентов были реализованы недостающие.

Программный комплекс

К 2019 году была выполнена задача разработки программного комплекса. Программный комплекс TPM&PRSC для получения режима стерилизации консервов на этапе предварительного подбора состоит из программ TPM и PRSC.

Диаграмма работы всего программного комплекса в нотификации IDEF0 представлена на рисунках 3.17–3.20.

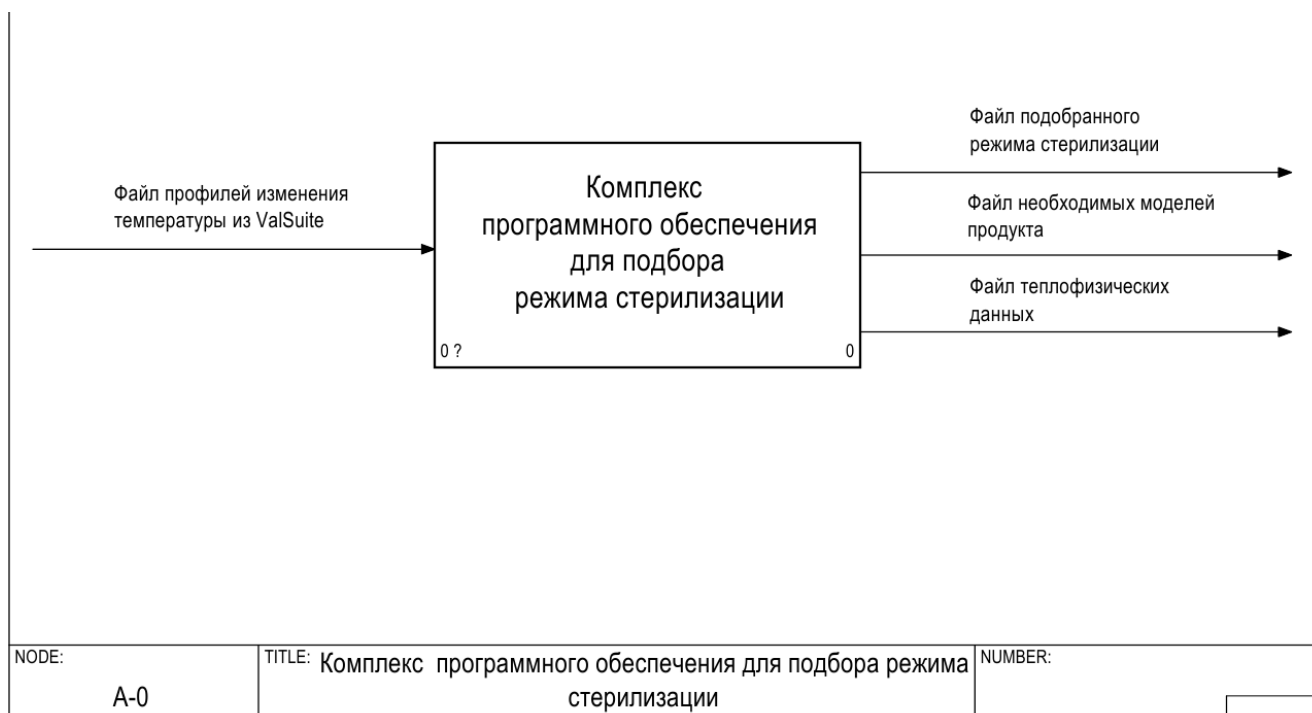


Рисунок 3.17 – Диаграмма программного комплекса

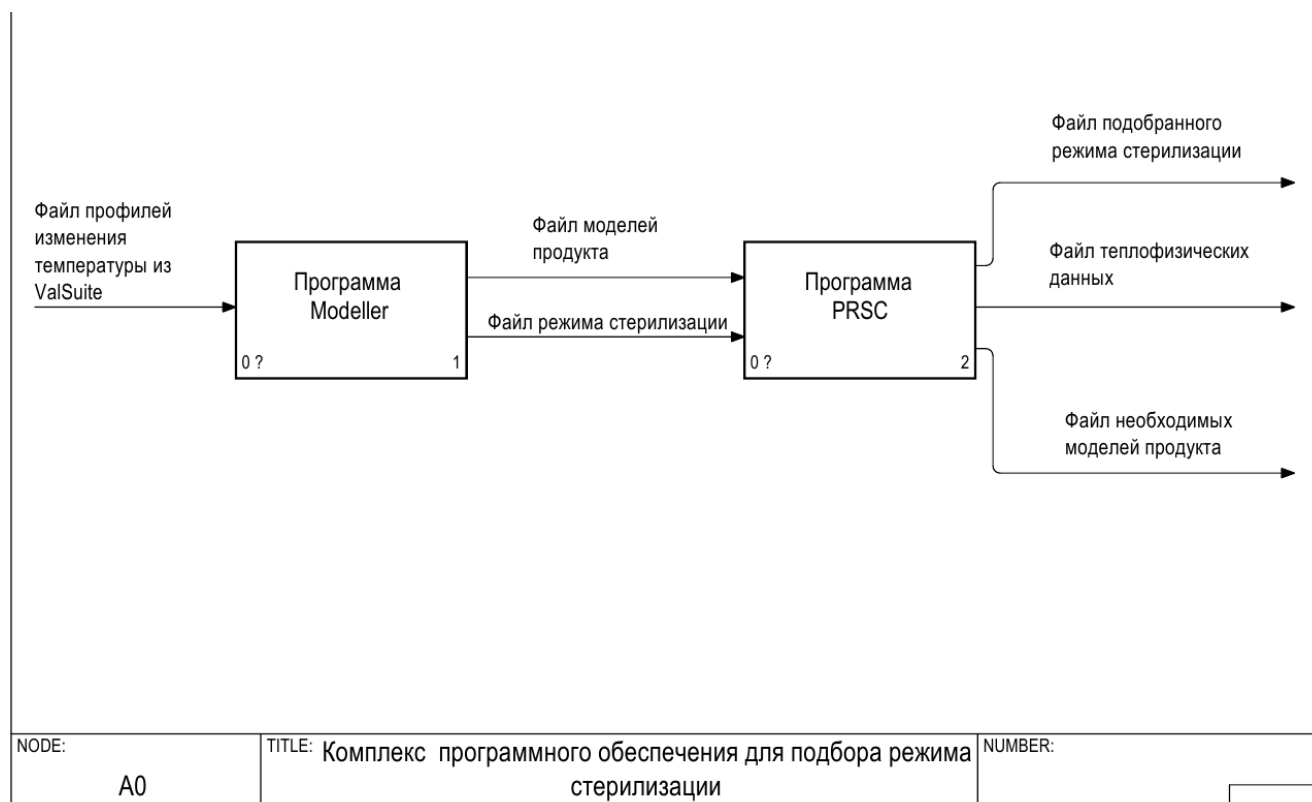


Рисунок 3.18 – Диаграмма взаимодействия программ комплекса

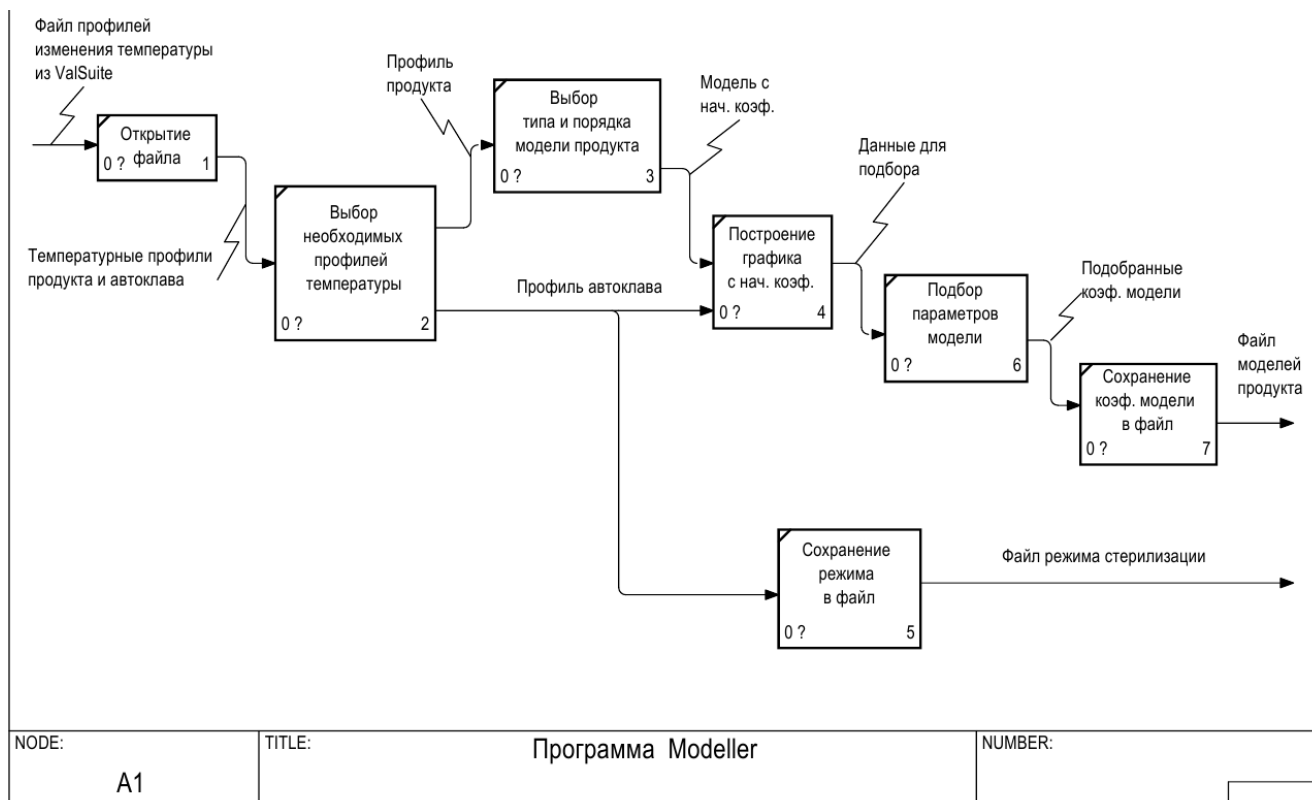


Рисунок 3.19 – Диаграмма программы TPM

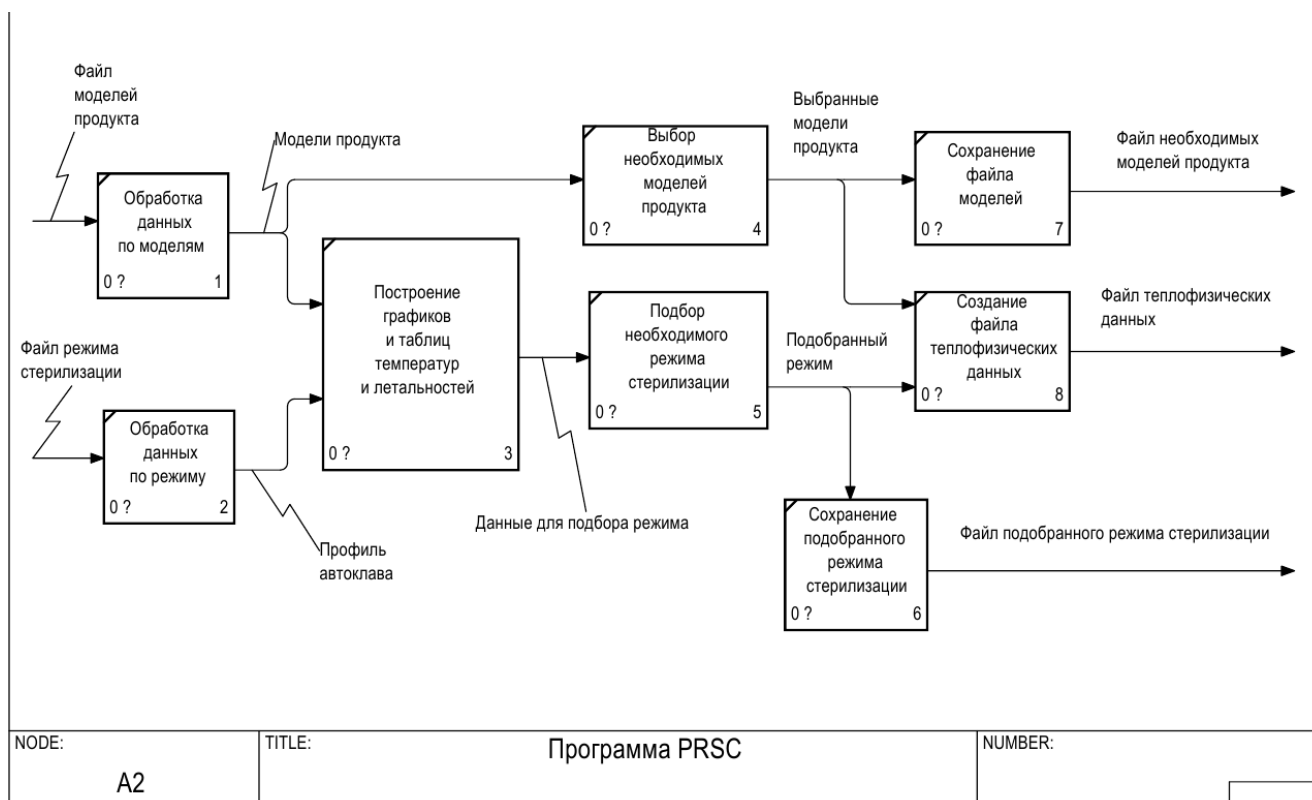


Рисунок 3.20 – Диаграмма программы PRSC

В программный комплекс загружается экспортированный TXT файл температурных профилей. Далее в программе TPM (Modeller) на основе этой информации можно подобрать температурные модели продукта и сохранить их

(CAN файл), а также экспериментальный режим стерилизации консервов (RGM файл). После этого данные файлы можно открыть в программе PRSC и вручную или автоматически выбрать необходимый режим стерилизации консервов. Окончательный выбор тепловых моделей продуктов и режима стерилизации консервов можно оформить в виде файла теплофизических данных (файл *.doc) для утверждения режима на этапе предварительного подбора.

Структурная схема программного комплекса представлена на рисунке 3.21.

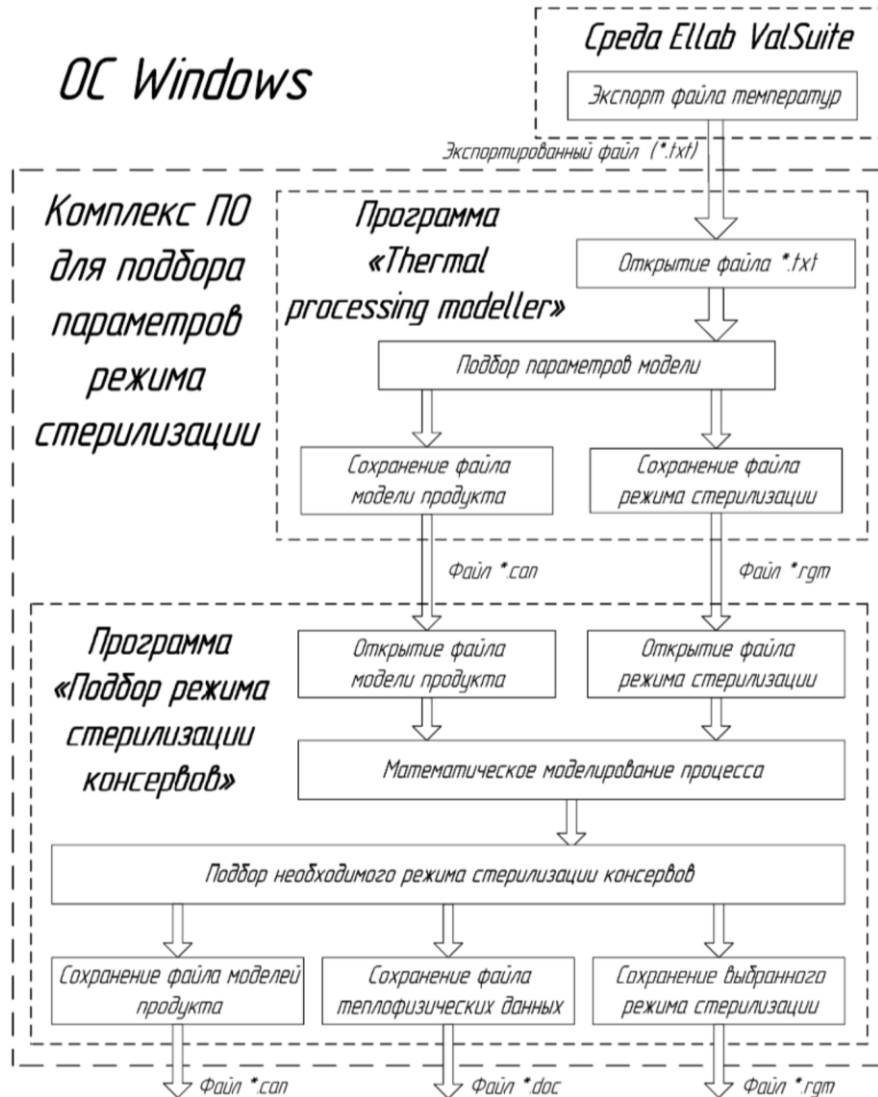


Рисунок 3.21 – Структурная схема программного комплекса TPM&PRSC

Данный программный комплекс позволяет использовать результаты численного моделирования процессов термообработки консервов на ПК в качестве пробных автоклавоварок без использования реального технологического оборудования.

База данных

База данных (БД) для разрабатываемой АСНИ – это реляционная БД, которая состоит из набора связанных между собой таблиц. «Таблица 1» содержит информацию, связанную с проведенным процессом стерилизации:

- Дата, время, место проведения, ФИО исполнителя
- Тип стерилизации, автоклав, наименование продукции, номер банки
- Данные о режиме стерилизации (продолжительность продувки, нагрева, стерилизации и охлаждения, температура стерилизации, давление при стерилизации и охлаждении, нормативный стерилизующий эффект)
- Данные о проведенном процессе (интервал измерения, наличие данных о фактическом давлении, ссылка на файл с измеренными данными).

Структура «Таблицы 1» изображена на рисунке 3.22.

Таблица1
Дата
Время
Место проведения
ФИО исполнителя
Тип стерилизации
Автоклав
Наименование продукции
Номер банки
Время продувки, мин.
Время нагрева, мин.
Время стерилизации, мин.
Время охлаждения, мин.
Температура стерилизации, °С
Давление при стерилизации, кПа
Давление при охлаждении, кПа
Нормативный F-эффект, усл. мин.
Интервал измерения, секунда
Измерение P
Данные

Рисунок 3.22 – Структура «Таблицы 1»

«Таблица 2» представляет собой файл с данными об изменении температур греющей среды и внутри банок с продуктом, а также давлении внутри

стерилизационной камеры автоклава (если было измерение давления) и рассчитанных значений фактического стерилизующего эффекта для каждой из банок с продуктом.

Структура «Таблицы 2» представлена на рисунке 3.23.

Таблица 2
Тавтоклава
Равтоклава
Тбанка1
Фбанка1
Тбанка2
Фбанка2
Тбанка3
Фбанка3

Рисунок 3.23 – Структура «Таблицы 2»

«Таблица 3» содержит информацию об используемых автоклавах: основные параметры, минимально возможные параметры режимов стерилизации, особенности конструкции, ссылка на файл с параметрами модели (при ее наличии), примечания для исполнителя.

Структура «Таблицы 3» изображена на рисунке 3.24.

Таблица3
Название автоклава
Объем стерилизационной камеры, л
Масса автоклава, кг
Паровой
Электрическая мощность, кВт
Площадь поверхности, м ²
Минимальный режим стерилизации
Особенности конструкции
Файл с параметрами модели
Примечания для исполнителя

Рисунок 3.24 – Структура «Таблицы 3»

Аналогично предыдущей таблице, организована «Таблица 4», содержащая информацию о номерах жестяных круглых банок и их параметрах [73]. Структура «Таблицы 4» изображена на рисунке 3.25.

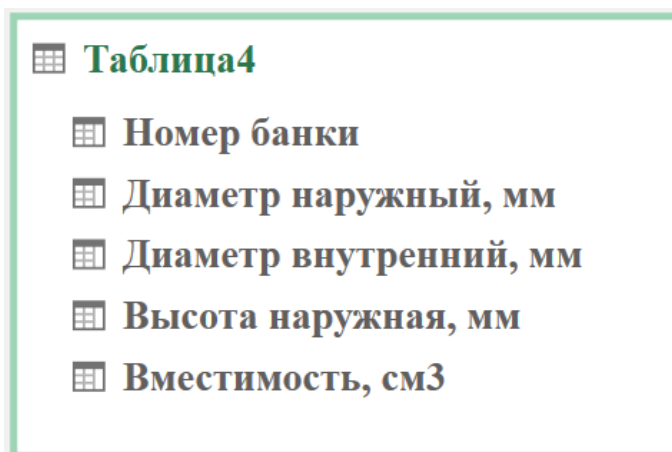


Таблица4	
Номер банки	
Диаметр наружный, мм	
Диаметр внутренний, мм	
Высота наружная, мм	
Вместимость, см3	

Рисунок 3.25 – Структура «Таблицы 4»

«Таблица 5» представляет собой таблицу с данными о консервируемом продукте: наименование, номер банки, наличие гомогенизированной структуры, параметры кислотности и теплоемкости, состав, соотношение ингредиентов, нормативный F-эффект для продукта и ссылка на файл с параметрами модели (при ее наличии).

Структура «Таблицы 5» изображена на рисунке 3.26.

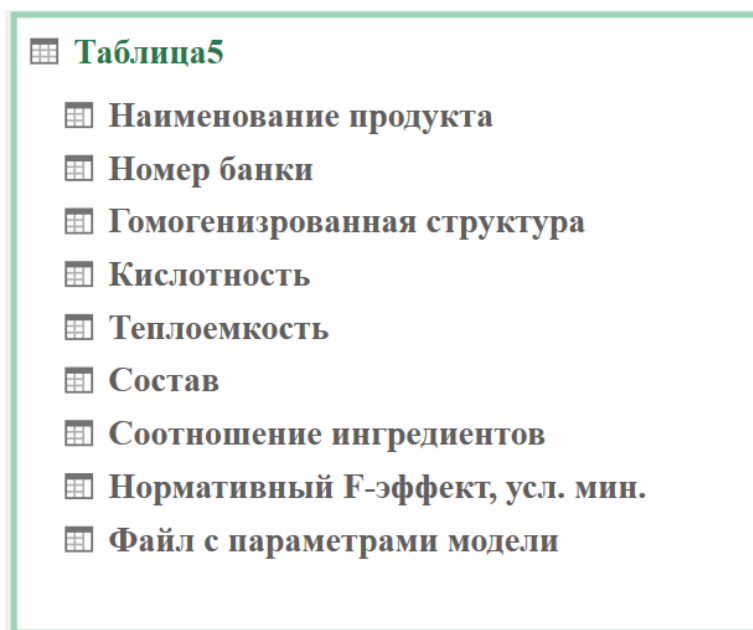


Таблица5	
Наименование продукта	
Номер банки	
Гомогенизированная структура	
Кислотность	
Теплоемкость	
Состав	
Соотношение ингредиентов	
Нормативный F-эффект, усл. мин.	
Файл с параметрами модели	

Рисунок 3.26 – Структура «Таблицы 5»

Структура БД для разрабатываемой АСНИ представлена на рисунке 3.27.

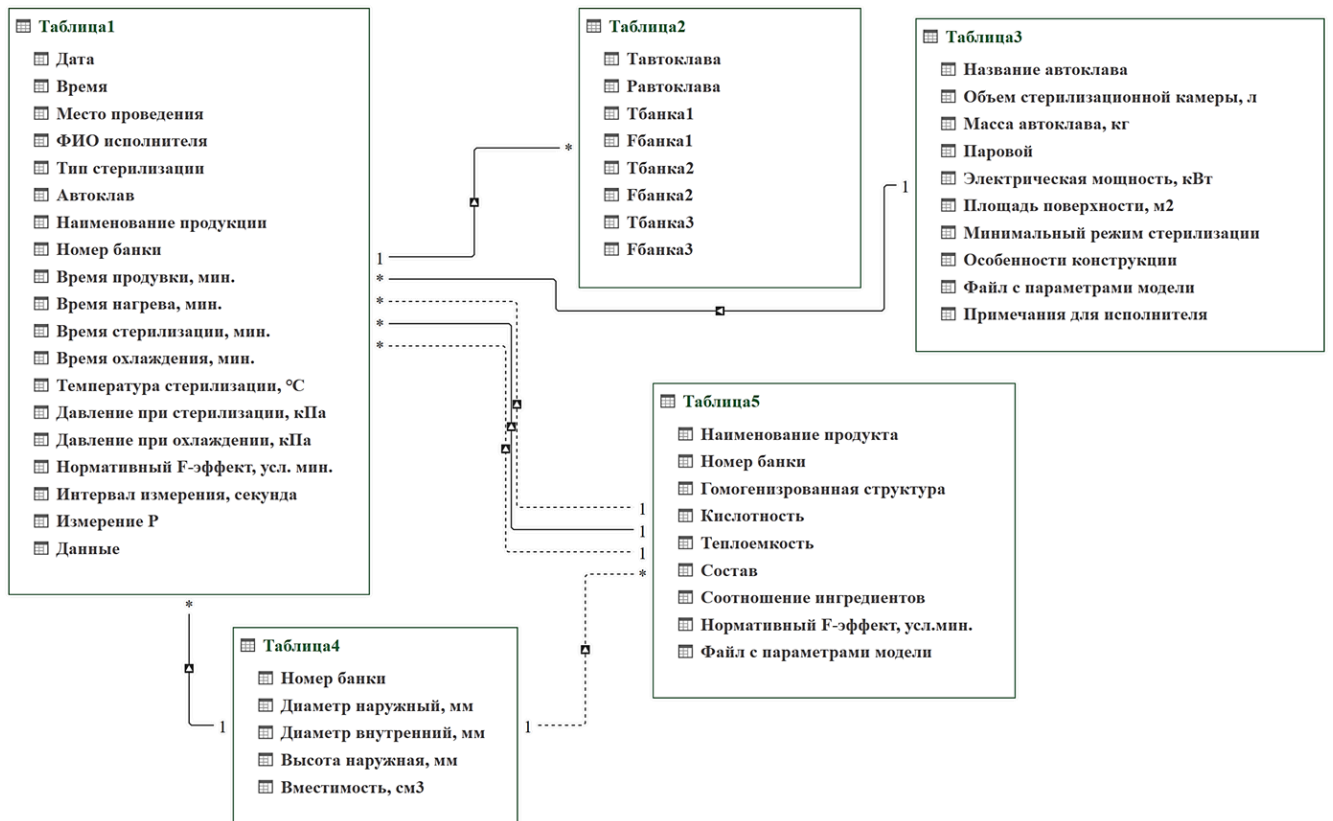


Рисунок 3.27 – Структура БД АСНИ

Экспертная система

База знаний экспертной системы содержит утвержденные режимы стерилизации для конкретных продуктов, номеров банок и автоклавов.

На основе использования средств нечеткой логики экспертная система осуществляет поддержку принятия решений в поиске необходимого режима стерилизации для пищевого продукта после нескольких ответов пользователя на вопросы в интерфейсном модуле ввода/вывода информации.

Все используемые в экспертной системе правила образуют систему правил, определяемую экспертами. При выполнении условия, содержащегося в правиле, предлагается набор решений.

После согласия с предложенным режимом и рекомендациями может быть проведен имитационный модельный процесс стерилизации с использованием математических моделей продукта и стерилизационной камеры автоклава для поиска оптимальной модели действий исполнителя с использованием интеллектуальных технологий. Информация по каждому из проведенных процессов накапливается и сохраняется в базы знаний и данных.

Выводы по главе 3

1. Рассмотрен процесс разработки нового режима стерилизации и, в частности, традиционный алгоритм проведения этапа предварительного подбора.

2. Представлена классификация режимов стерилизации пищевых продуктов в водной среде в вертикальном автоклаве периодического действия по признаку изменения температурного профиля греющей среды.

3. Представлена экономичная методика разработки нового режима стерилизации пищевого продукта для промышленного автоклава на этапе предварительного подбора, которая основана на использовании математического моделирования процесса совместно с лабораторным автоклавом малого объема. В 2022 году данная методика была модернизирована и, тем самым, позволила сократить потребление электроэнергии и расхода сырья до 95 процентов на один цикл. Модернизированная экономичная методика позволит рыбопромышленным предприятиям повысить свою эффективность в рамках концепции бережливого производства.

4. Предложен новый способ стерилизации пищевых продуктов с использованием математической модели продукта, который предусматривает определение прогнозируемого значения F-эффекта процесса при помощи измерения температуры среды автоклава и математического моделирования динамики температуры пищевого продукта в консервной таре, а также вычисление разности между прогнозируемым фактическим значением и заданным значением эффекта стерилизации. В зависимости от этой разности осуществляют термообработку продукта до достижения прогнозируемым значением фактической летальности заданного значения, после чего выполняют этап охлаждения консервов согласно режиму. В результате применения нового способа, можно повысить эффективность процесса тепловой обработки на 15-20 процентов в сравнении с традиционным способом за счет снижения затрат на производство.

5. Программное обеспечение «Модель автоклава для тренажера процесса стерилизации» преобразовано для использования в качестве цифрового двойника автоклава, который включен в состав разрабатываемой АСНИ.

6. Представлена структура разрабатываемой АСНИ. Для реализации АСНИ на кафедре АиВТ МАУ можно выделить наличие объектной подсистемы, подсистемы численного математического моделирования, подсистемы ввода и вывода графической информации и подсистемы создания документов о теплофизическом исследовании. Средства обеспечения создаваемой АСНИ составляют компоненты методического и технического, а также частично программного и организационно-правового обеспечения. Выполнены задачи разработки недостающих компонентов АСНИ: программного комплекса, базы данных и экспертной системы.

ГЛАВА 4. ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АСНИ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ СТЕРИЛИЗАЦИИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

4.1 Блок имитационного моделирования

Блок имитационного моделирования в АСНИ реализован на базе программного обеспечения компьютерного моделирования «Модель автоклава для тренажера процесса стерилизации» [82]». Подробное описание работы программы и схемы моделирования поведения автоклава представлено в [84].

Рассмотрим реализацию имитационной модели автоклава в среде MATLAB.

На примере притока паровой среды $\Delta m(dm)$ при открытии клапана подачи пара, рассмотрим вычисление изменения массы пара (рисунок 4.1).

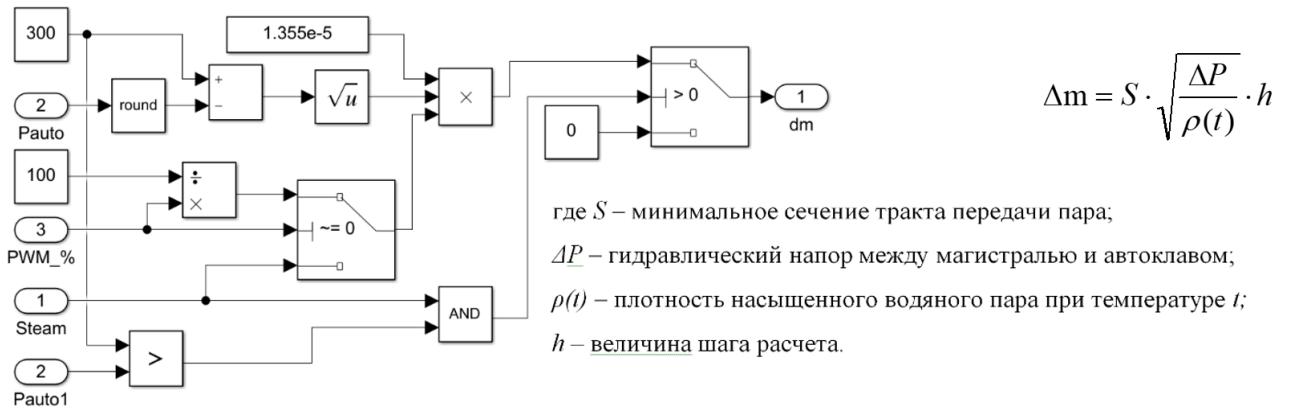


Рисунок 4.1– Вычисление изменения массы пара

Вычисление температуры пара при его притоке осуществляется по схеме, представленной на рисунке 4.2.

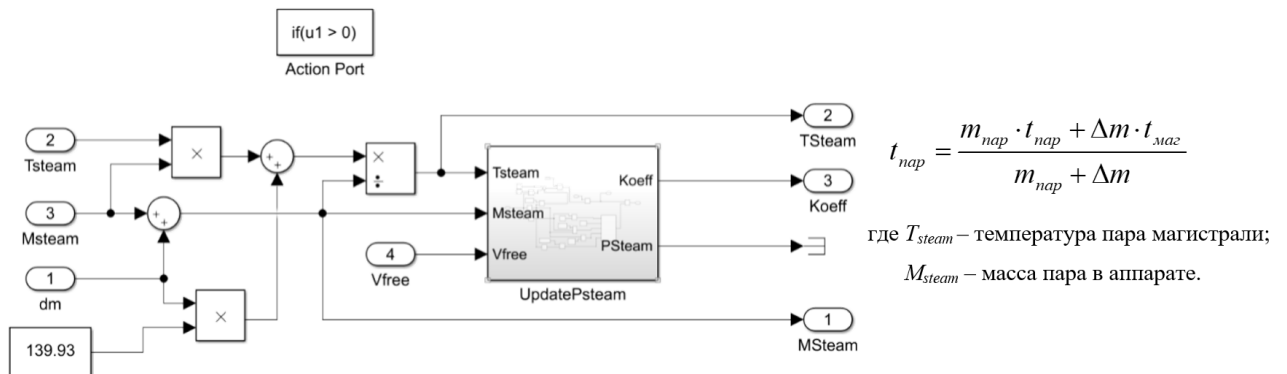


Рисунок 4.2 – Вычисление температуры пара

Вычисление парциального давления пара производится на основании расчета коэффициента $coeff$. Схема расчета парциального давления и коэффициента как части массы пара от физически возможной массы пара в аппарате представлена на рисунке 4.3.

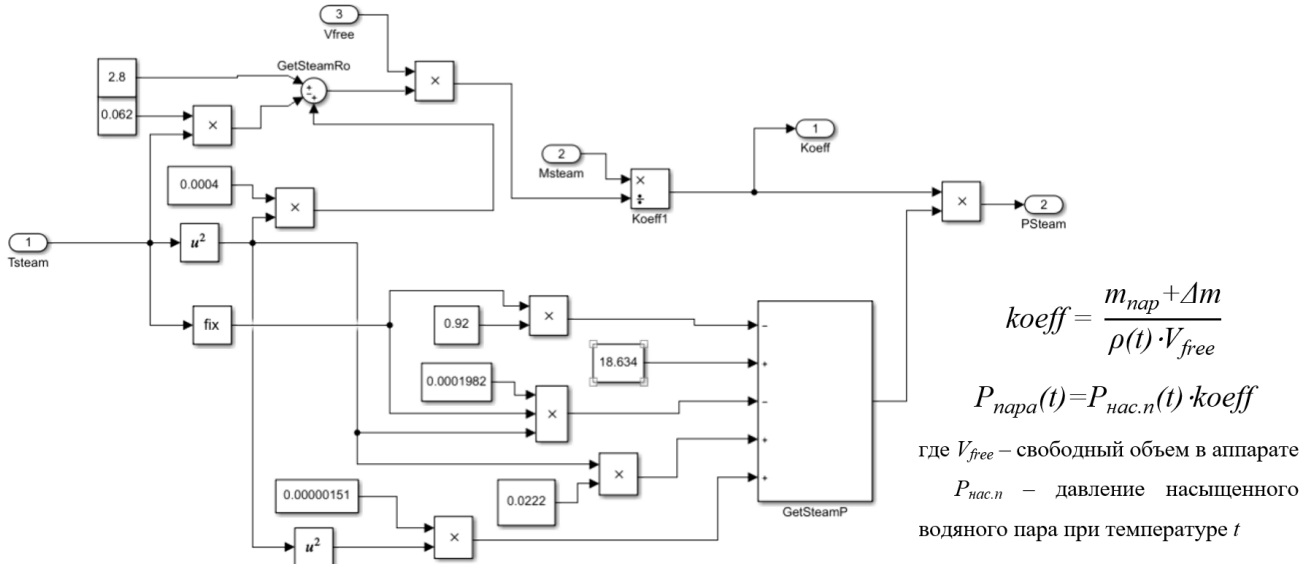


Рисунок 4.3 – Схема расчета парциального давления и коэффициента

Схема расчета теплообмена пара с металлом, продуктом, водой и воздухом, количеством теплоты Q , передаваемой от пара за единицу расчетного шага представлена на рисунке X.4.

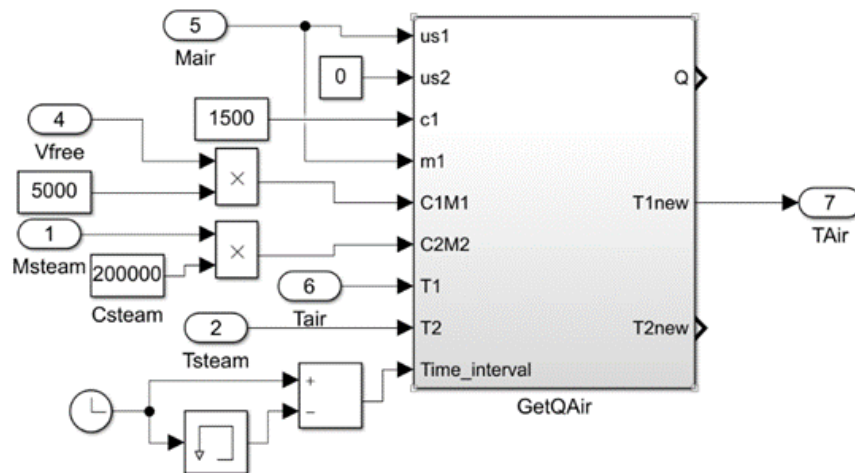


Рисунок 4.4 – Схема расчета теплообмена пара с объектом

Изменение температуры Δt объектов теплообмена вычисляется по известным параметрам удельной теплоемкости материала объекта и его массы (рисунок 4.5).

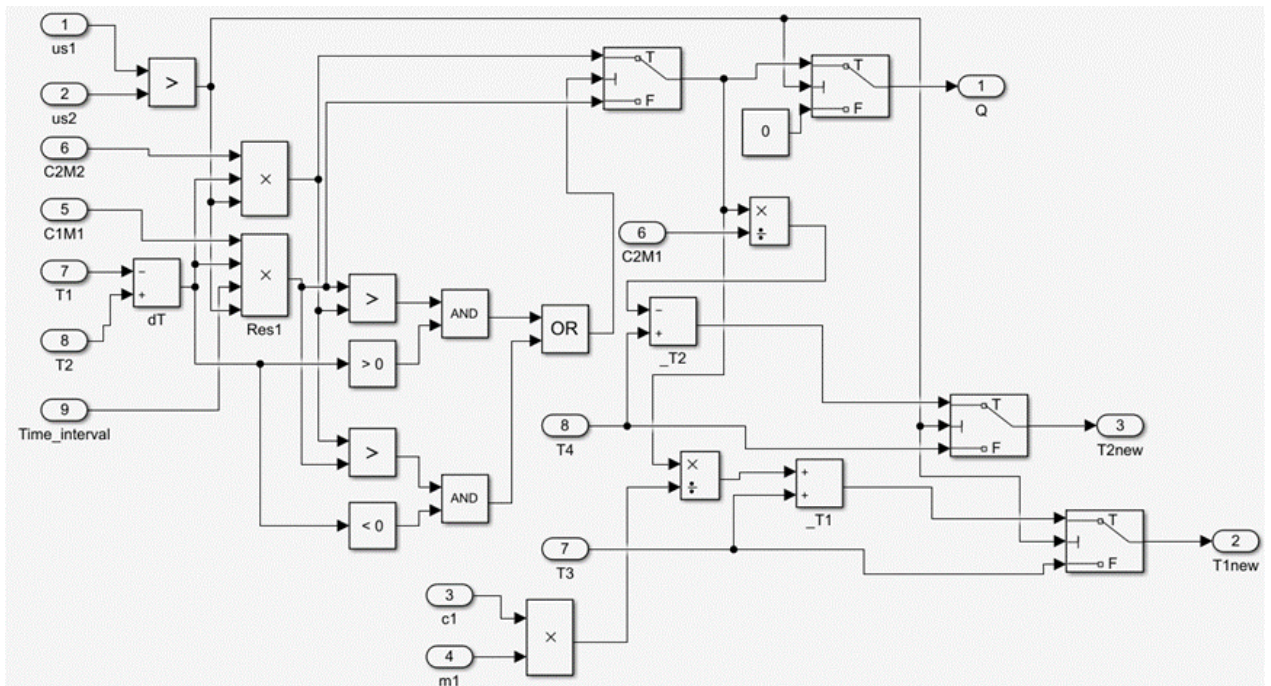


Рисунок 4.5 – Изменение температуры объектов теплообмена

По полученным значениям количества теплоты вычисляется количество сконденсировавшегося пара $m_{\text{конд}}$, что приводит к увеличению массы воды в аппарате.

При получении избыточного давления в автоклаве, проводится проверка открытого состояния клапанов спуска, слива, подрывного клапана и крышки. При этом в модели производится расчет снижения массы пара. При открытом клапане слива и наличии воды расчет уменьшения пара не производится.

Изменение температуры и массы пара после тепло- и массообмена, приводит к повторному вычислению парциального давления и температуры, являющейся функцией давления.

Вычисление параметров воды в аппарате отличается от предложенной схемы расчета параметров пара при наличии в стерилизационной камере пара. При взаимодействии холодной воды с горячим паром на этапе охлаждения вычисляется количество сконденсировавшейся воды. Расчет параметров воды завершается вычислением уровня воды в автоклаве, площадей теплообмена воды с корпусом и продуктом, паровоздушной смеси (ПВС) с корпусом, продуктом и водой.

Расчет параметров воздуха отличается от предложенной схемы параметров пара вычислением отвода содержащегося в аппарате воздуха при открытой крышке и притока окружающего воздуха. Давление воздуха рассчитывается по известным значениям массы воздуха, молярной массы воздуха и универсальной газовой постоянной.

Вычисление изменения температуры корпуса автоклава вследствие теплообмена с окружающей средой осуществляется по известным значениям площади поверхности теплообмена и температурного напора.

Температура ПВС вычисляется пропорционально температурам и массам составляющих.

Расчет показаний штатного датчика температуры, выполняется с учетом инерционности теплопередачи от гильзы с постоянной времени 10 секунд. При нахождении гильзы датчика в воде входной величиной расчетов является температура воды. При нахождении датчика в ПВС, вычисление показаний ведется на основе температуры ПВС.

Давление автоклава вычисляется суммированием парциальных давлений воздуха и пара. При заполнении аппарата водой расчет давления по воде осуществляется с учетом открытия клапанов подачи воды, спуска и слива.

Допущения, принятые в расчетной схеме:

- дискретность по времени расчетов тепло- и массообмена в камере;
- отсутствие расчета передачи тепла через пленку конденсата корпусу аппарата и продукту;
- отсутствие учета в расчете зависимости теплоемкостей объектов стерилизационной камеры от температуры, и связи удельной теплоты парообразования с параметрами насыщенного водяного пара;
- степень сухости водяного пара принята равной единице
- упрощенно рассматриваются вопросы истечения пара, воды и воздуха, а также вопросы теплоотдачи;
- продукт считается гомогенизированным, фазовые превращения содержимого банок отсутствуют и т.п.

Пример моделирования процесса в среде MATLAB при управлении моделью стерилизационной установки в ручном режиме показан на рисунке 4.6.

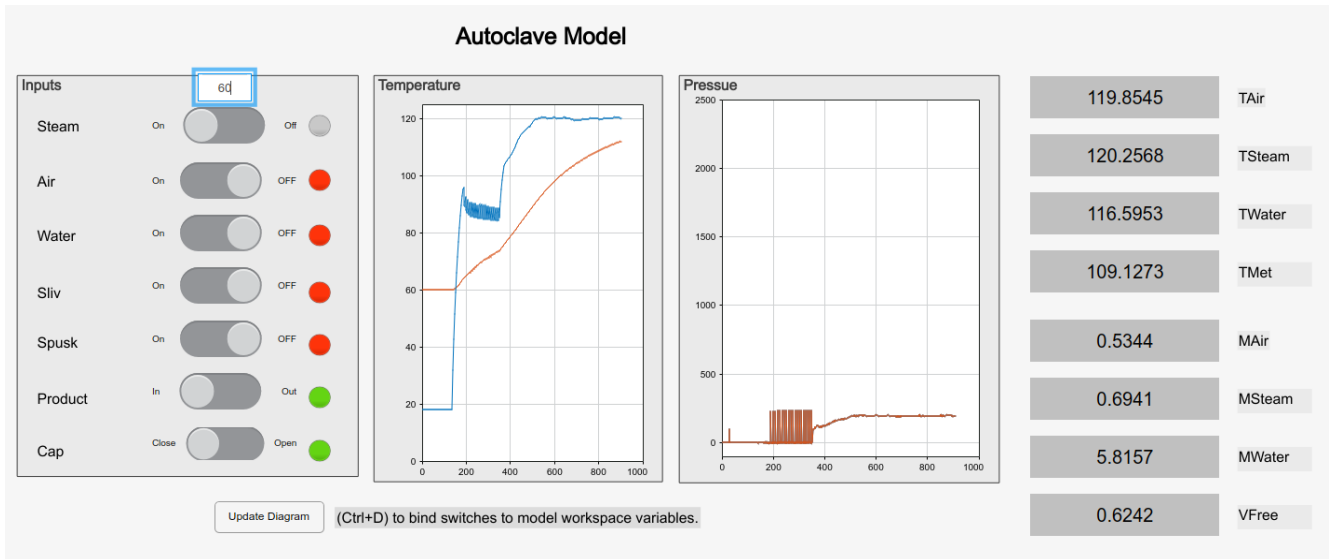


Рисунок 4.6 – Пример моделирования работы автоклава

4.2 Блок физического моделирования

Блок физического моделирования в АСНИ реализован в виде автоматизированной системы «Программа управления водной стерилизацией в АВК-30М» (АС ПУ ВС АВК-30М), используемой в качестве физического двойника промышленного автоклава, и разработанной системы автоматического управления Н2-ИТА602 для организации двусторонней связи с цифровым двойником.

4.2.1 Автоматизированная система ПУ ВС АВК-30М

Для проведения исследований и разработки режимов стерилизации АВК-30М оборудован техническими и программными средствами отечественного производственного объединения «ОВЕН». Система управления автоклавом, которая состоит из программируемого логического контроллера ПЛК-154, модулей аналогового и дискретного ввода-вывода, модернизирована для применения АВК-30М в качестве физического двойника промышленного автоклава.

При проектировании и разработки АС ПУ ВС АВК-30М (рисунок 4.7) учитывалось требование поддержания температуры в автоклаве на этапе

собственно стерилизации в пределах ± 1 °С. При выполнении проектирования программного обеспечения для АС ПУ ВС АВК-30М учитывалось то, что программа должна реагировать на изменение давления или температуры стерилизационной камеры в процессе стерилизации не более чем через 30 секунд. В программе текущее давление в стерилизационной камере рассчитывается по эмпирически подобранной формуле внутри SCADA-проекта.

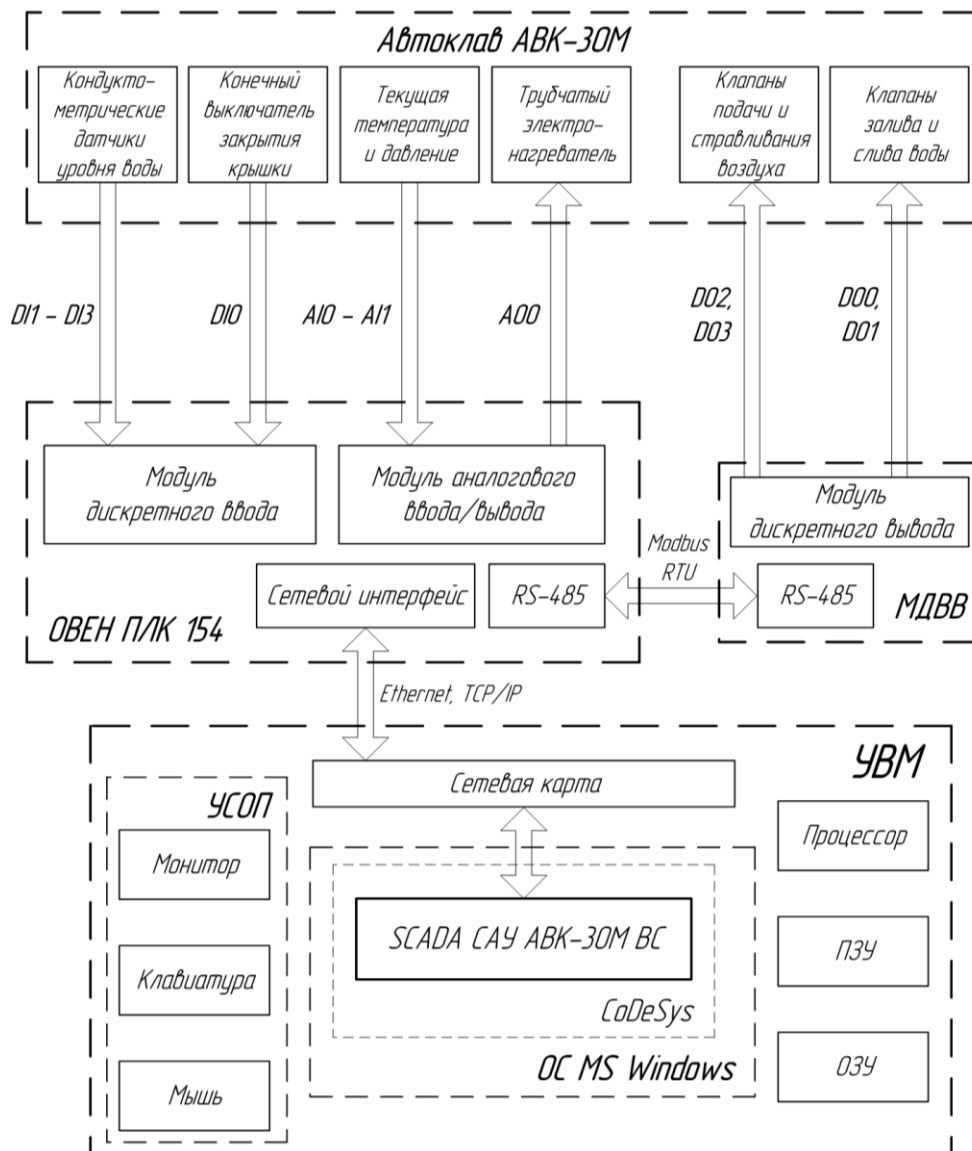


Рисунок 4.7 – Структурная схема АС ПУ ВС АВК-30М

В ходе процесса стерилизации ПУ ВС АВК-30М, написанная в SCADA-системе CoDeSys v2.3.9.41, получает данные о текущих температуре и давлении, состоянии клапанов воды и воздуха, уровне воды в автоклаве и состоянии крышки автоклава по протоколу TCP/IP от ПЛК-154. Считывание данных параметров с модулей аналогового и дискретного ввода-вывода осуществляется

через ПЛК-154, с помощью дополнительно настроенных протоколов Modbus-RTU или ОВЕН. В ходе процесса стерилизации осуществляется управление автоклавом с помощью подачи соответствующего управляющего воздействия на электромагнитные клапаны и трубчатые электронагреватели.

Условно АС можно разделить на подсистемы управления температурой автоклава и управления давлением в стерилизационной камере автоклава АВК-30М.

АС ПУ ВС АВК-30М позволяет решать следующие основные задачи:

- задавать температуры и давления стерилизации, а также временные интервалы этапов стерилизации (нагрева, собственно стерилизации и охлаждения);
- осуществлять контроль времени, температуры и давления на этапах процесса в автоматическом режиме;
- сигнализировать состояние крышки автоклава;
- выводить на экран уровень воды в стерилизационной камере автоклава;
- ограничивать доступ некоторых групп персонала к редактированию заданных температур и давления стерилизации, а также временных интервалов этапов процесса стерилизации;
- отображать и управлять состоянием клапанов залива и слива воды, а также клапанов подачи и стравливания воздуха из стерилизационной камеры;
- осуществлять регулирование температуры стерилизационной камеры в процессе стерилизации с помощью подачи соответствующего управляющего воздействия на нагревательные элементы автоклава;
- отображать аварийную сигнализацию открытия крышки автоклава и снижения уровня воды до нижнего уровня в процессе стерилизации;
- уметь архивировать текущую температуру и давление стерилизационной камеры, заданные температуру и давление стерилизации, а также значение управляющего воздействия, подаваемого на нагревательные элементы автоклава, значение текущего времени и наименование этапа стерилизации;

– осуществлять представление текущих и заданных температуры и давления стерилизационной камеры в графическом виде.

Предварительный залив воды в автоклав и загрузка банок перед этапом нагрева осуществляются в ручном режиме. Все остальные функции осуществляются непосредственно внутри алгоритма программного обеспечения АС ПУ ВС АВК-30М.

В состав ПУ АВК-30М ВС входят следующие подсистемы:

- проверки уровня доступа персонала;
- контроля температуры в стерилизационной камере автоклава;
- контроля давления в стерилизационной камере автоклава;
- управления нагревательными элементами автоклава, а также клапанами подачи и стравливания воздуха и залива и слива воды;
- хранения данных о процессе;
- визуализации переменных процесса стерилизации.

Информационная модель ПУ ВС АВК-30М представлена на рисунках 4.8 и 4.9 и создана согласно нотификации IDEF1X.

На рисунке 4.8 изображена информационная модель данных контроля и управления с блоками ввода по температуре, давлению, уровню воды и состоянию крышки автоклава. Также на модели представлены блоки вывода управляющего воздействия на нагревательный элемент автоклава и сигналов открытия или закрытия клапанов подачи и стравливания воздуха, залива и слива воды. Модель содержит блоки расчета управляющего воздействия на нагревательный элемент, давления в стерилизационной камере, а также номера и текущего времени этапа процесса стерилизации.

На рисунке 4.9 изображена информационная модель данных архивирования и сигнализации. Как и на рисунке 4.8, присутствуют блоки ввода информации по температуре, давлению, уровню воды и состоянию крышки автоклава. Модель также содержит блоки индикации и архивирования описанных величин.

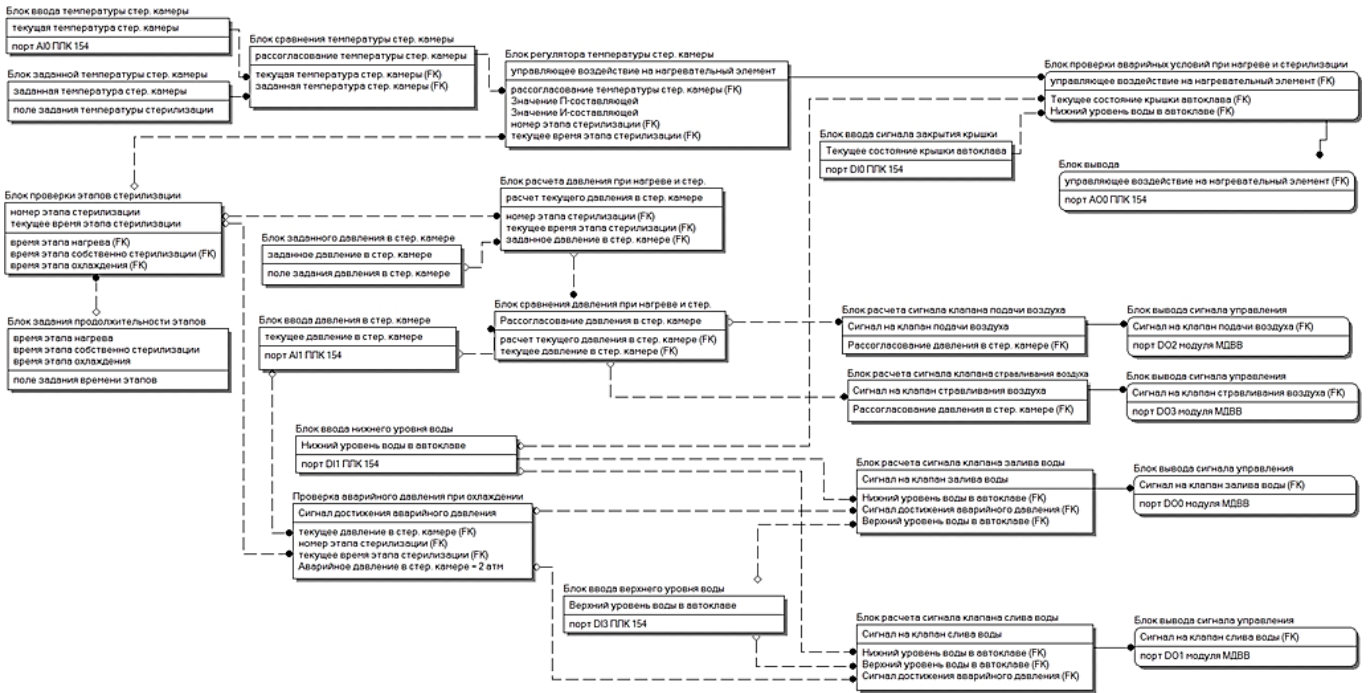


Рисунок 4.8 – Информационная модель данных контроля и управления

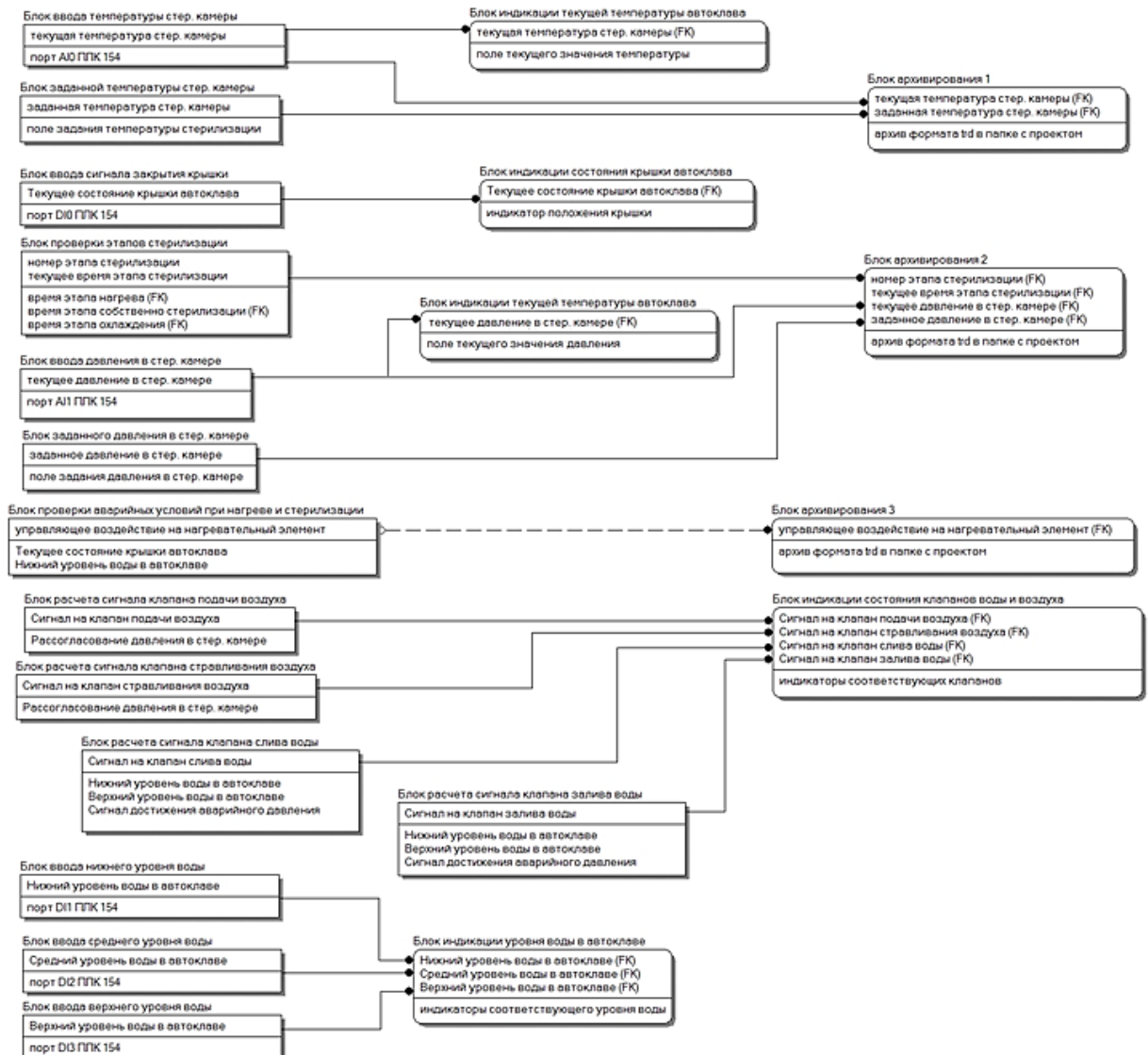


Рисунок 4.9 – Информационная модель данных архивирования и сигнализации

Алгоритм программы управления (рисунки 4.10-4.12) реализован в виде функциональных блоков SCADA-системы на языке на языке международного стандарта МЭК 61131-3 CFC (Continuous Function Chart). Язык программирования CFC представляет собой усовершенствованный язык FBD блоков, в котором разрешено их произвольное размещение и расстановка порядка выполнения.

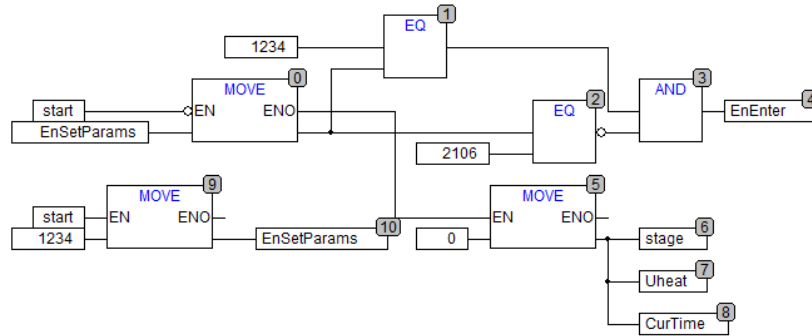


Рисунок 4.10 – Проверка доступа к редактированию параметров задания

Подсистема проверки уровня доступа персонала (функциональные блоки 0 – 10 на рисунке 4.10) в зависимости от группы доступа позволяет (пароль «2106») или запрещает (например, пароль «1234») редактировать температуру и давление стерилизации, а также временные интервалы этапов процесса стерилизации (нагрева, собственно стерилизации и охлаждения).

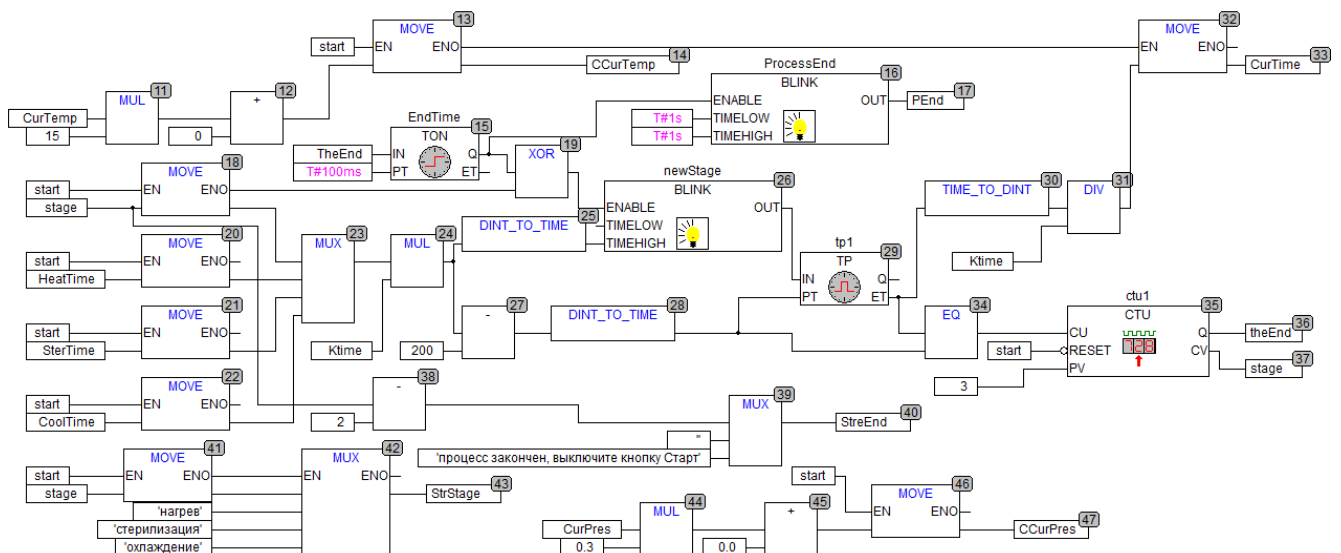


Рисунок 4.11 – Расчет текущих параметров и времени этапа

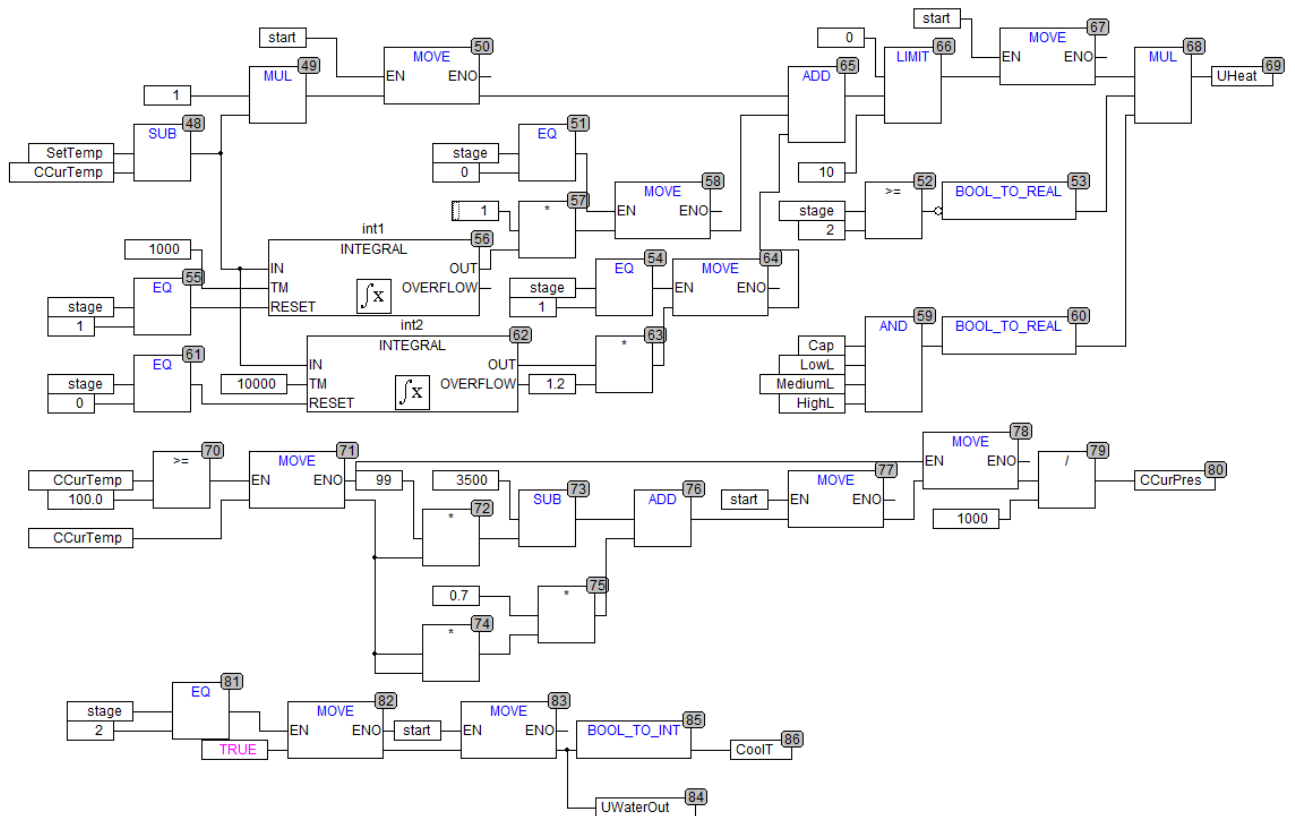


Рисунок 4.12 – Расчет управляющего воздействия и других параметров

Подсистемы контроля температуры и давления, а также управления нагревательными элементами автоклава, клапанами подачи и стравливания воздуха, клапанами залива и слива воды автоклава выполняют следующие функции:

- передача данных об основных характеристиках технологического процесса (температура и давление в стерилизационной камере) в режиме реального времени (функциональные блоки 11 – 14 и 44 – 47 на рисунке 4.11);
- управление исполнительными механизмами контуров системы управления (трубчатый электронагреватель, клапаны подачи и стравливания воздуха и залива и слива воды) в автоматическом режиме во время проведения процесса стерилизации (функциональные блоки 48 – 69, 70 – 80 и 81 – 86 на рисунке 4.12).

Подсистемы контроля и управления (рисунки 4.11 и 4.12) работают следующим образом. После выполнения условий по заполнению автоклава водой до верхнего уровня и закрытия крышки автоклава (блоки 59 и 60), программа начинает этап нагрева стерилизационной камеры. В зависимости от текущей

температуры стерилизационной камеры программа осуществляет расчет управляющего воздействия (блоки 48 – 69) на нагревательный элемент автоклава с помощью регулятора. Интегральная составляющая регулятора изменяется в зависимости от этапа стерилизации (блоки 56 и 62). На протяжении всего процесса производится расчет текущего давления стерилизационной камеры (блоки 70 – 80) и проверка аварийных условий досрочного завершения стерилизации (блоки 52, 53, 59, 60). После окончания процесса стерилизации в программе появляется информационное сообщение об окончании стерилизации консервов (блоки 39, 40). Блоки 81–86 запускают слив воды из автоклава после окончания процесса стерилизации.

Функциональные блоки 11–14 и 44–47 на рисунке 4.11 осуществляют прием сигналов напряжения и соответственно пересчет в текущую температуру и давление. Блоки 15–43 производят выбор необходимого этапа процесса стерилизации, вывод его наименования, а также расчет и вывод текущей продолжительности выбранного этапа.

Подсистема хранения данных о процессе стерилизации осуществляет запись текущей температуры и давления в стерилизационной камере, заданной температуры и давления стерилизации, а также значения управляющего воздействия, подаваемого на нагревательные элементы автоклава, и значений текущего времени и наименования этапа стерилизации в архивный файл.

Для корректного функционирования программы были использованы переменные, которые описаны в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Переменные программы управления

Переменная	Тип	Назначение	Начальное значение
EnSetParams	integer	пароль для доступа к заданию параметров	1234
EnEnter	boolean	наличие доступа к редактированию задания	–
SetTemp	real	заданное значение температуры	115.0
HeatTime	double integer	время этапа нагрева	25
SterTime	double integer	время этапа стерилизации	50

CoolTime	double integer	время этапа охлаждения	20
Stage	integer	номер этапа (0,1 или 2)	0
SetPres	real	заданное давление	1.4
CurTime	double integer	текущее время этапа	–
start	boolean	начало процесса стерилизации	–
Cap	boolean	состояние крышки автоклава	–
LowL, MediumL, HighL	boolean	нижний, средний или верхний уровень воды	–
UWaterIn, UWaterOut	boolean	состояние клапанов залива и слива воды	–
UAirIn, UAirOut	boolean	состояние клапанов подачи и стравливания воздуха	–
CurTemp	real	текущая температура	–
CurPres	real	текущее давление	–
CCurTemp	real	пересчитанная температура в градусах Цельсия	–
CCurPres	real	пересчитанное давление в атмосферах	–
Uheat	real	управляющее воздействие на нагревательный элемент	–
TheEnd, PEnd	boolean	конец всего процесса стерилизации	–
StrStage	string	текущий этап в строковом виде	–
StreEnd	string	сообщение окончания процесса	–
Ktime	double integer	переводной множитель времени	1000

Подсистема визуализации параметров процесса стерилизации отображает текущую температуру и давление в стерилизационной камере автоклава в текстовом и графическом видах, уровень воды и состояния крышки автоклава. Также подсистема показывает значения управляющего воздействия, подаваемого на нагревательные элементы автоклава, текущего времени совместно с наименованием этапа стерилизации. Подсистема визуализации одновременно является экраном взаимодействия с оператором (рисунок 4.13). Подробное описание принципов работы с экраном оператора представлено в Приложении А.

Для работы программы необходимы следующие технические средства:

- IBM-совместимый персональный компьютер (ПЭВМ);

– программируемый логический контроллер (ПЛК) аналогичный по характеристикам ПЛК-154;

– модули аналогового ввода и/или дискретного ввода/вывода аналогичные по количеству и характеристикам каналов МВА-8 и МДВВ.

ПЭВМ должен обладать следующими характеристиками:

– процессор с тактовой частотой не менее 2 ГГц и не менее двумя вычислительными ядрами;

– оперативная память объемом не менее 2 Гбайт;

– сетевая карта со скоростью не менее 10 Мбит/с;

– жесткий диск объемом не менее 500 Гбайт;

– установленная лицензионная версия операционной системы не ниже Windows XP;

– настроенный протокол TCP/IP для обмена данными с ПЛК.

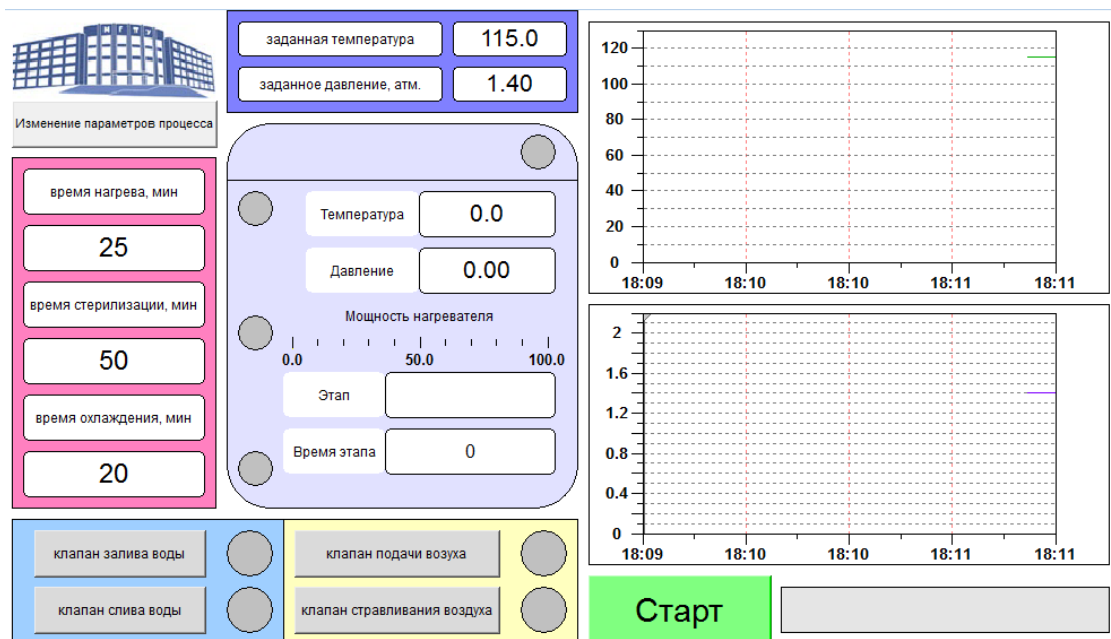


Рисунок 4.13 – Экран оператора программы управления

Технико-экономические показатели АС ПУ АВК-30М ВС соответствуют ожидаемым и обеспечивают выполнение следующих требований:

– программное обеспечение легко модифицируется;

– программа имеет дружелюбный интерфейс оператора;

- система предоставляет различные варианты отображения основных контролируемых параметров: температуры и давления стерилизационной камеры;
- предоставляемый ввод информации зависит от группы допуска оператора программного обеспечения.

4.2.2 Система управления автоклавом Н2-ИТА602

Существующая система автоматического управления процессом стерилизации (САУСТ-1Е) для вертикального автоклава Н2-ИТА602 была разработана в 2003 году калининградским предприятием ООО «РАС» и в настоящее время используется инженерами-технологами МАУ в учебно-экспериментальном цехе в рамках собственных исследований. Система состоит из пульта управления автоклавом (системный блок с монитором 15"), щита ручного управления, датчиков верхнего уровня воды, температуры и давления, а также клапанов обвязки автоклава и представлена в виде схемы на рисунке 4.14.

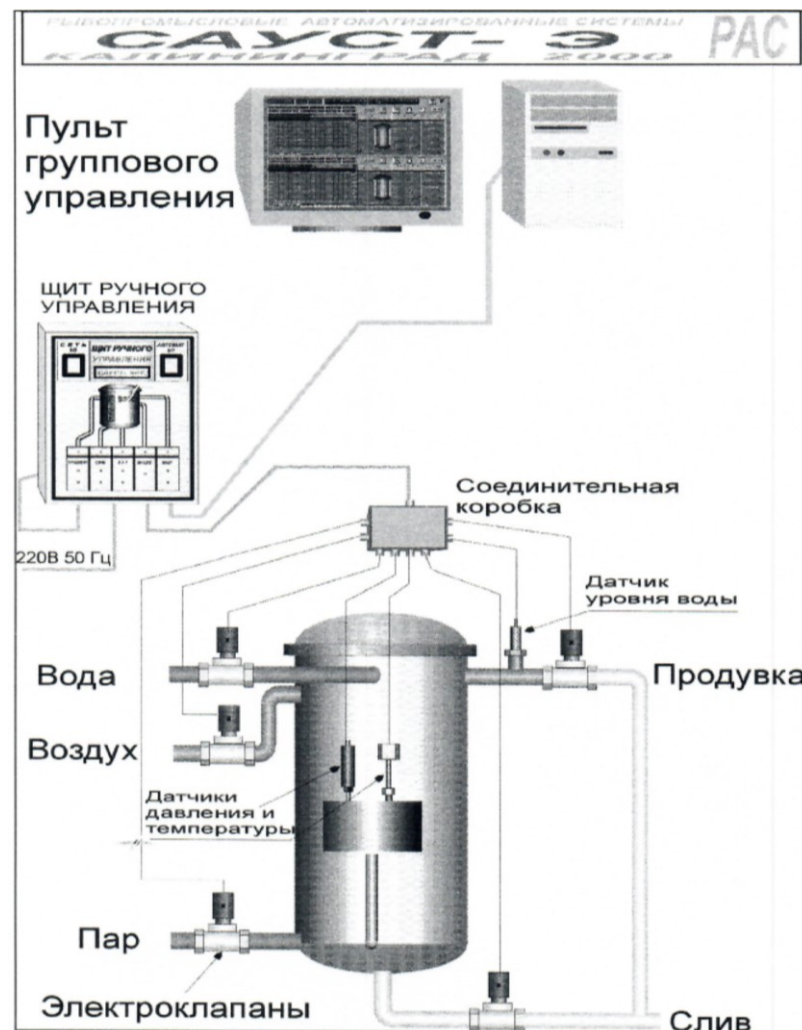


Рисунок 4.14 – Схема САУСТ-1Е

Щит ручного управления является блоком преобразования приходящих от пульта управления сигналов в сигналы управления клапанами, а также служит для резервного дистанционного управления включением/выключением исполнительных механизмов автоклава при отказе пульта управления в ходе процесса стерилизации. Щит выполнен в виде навесного конструктива со степенью защиты IP65, на лицевой панели (рисунок 4.15) которого размещена мнемосхема автоклава, индикаторы работы клапанов и органов управления, а также тумблеры и кнопки.



Рисунок 4.15 – Внешний вид лицевой панели щита ручного управления
Внутри щита ручного управления размещены:

- модуль I-7018;
- модуль I-7050;
- модули параметров и реле, выполненные в виде печатных плат.

Внешний вид модулей параметров и реле, выполненных в виде печатных плат, представлен на рисунке 4.18.

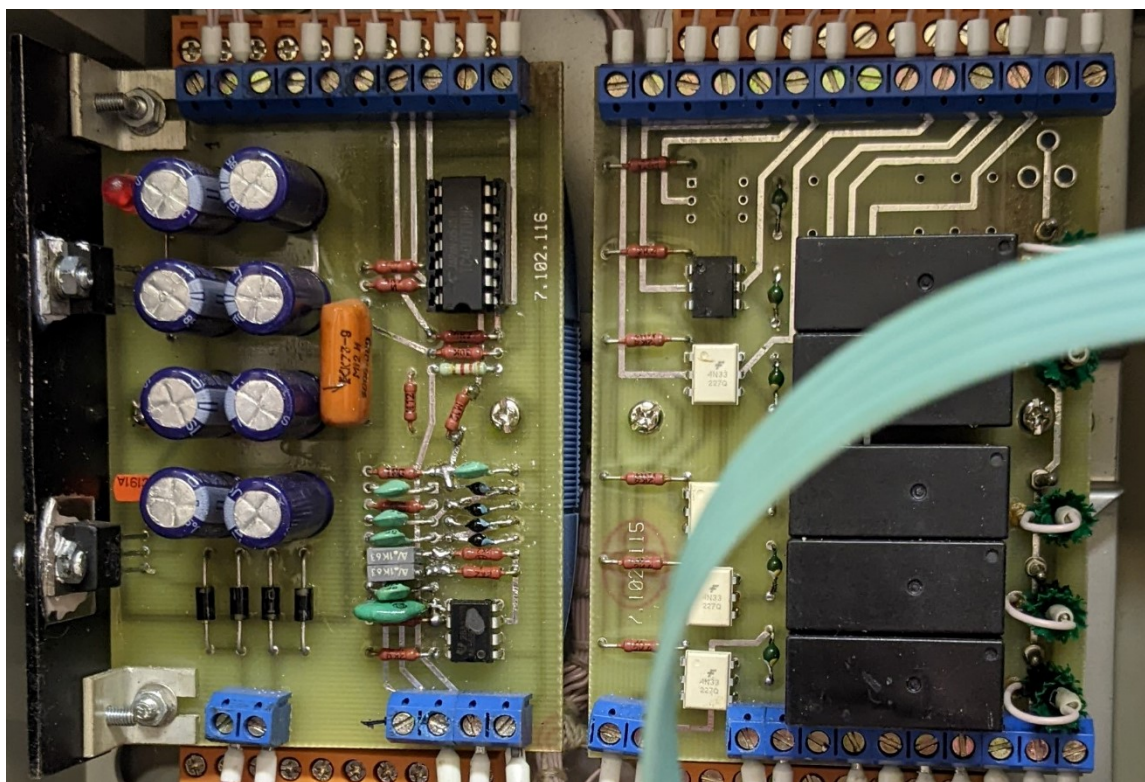


Рисунок 4.18 – Вид модулей параметров и реле

В соединительной коробке (рисунок 4.19) собираются сигналы с клапанов воды, воздуха, пара, слива и продувки, а также сигналы с датчиков уровня воды, температуры и давления автоклава.

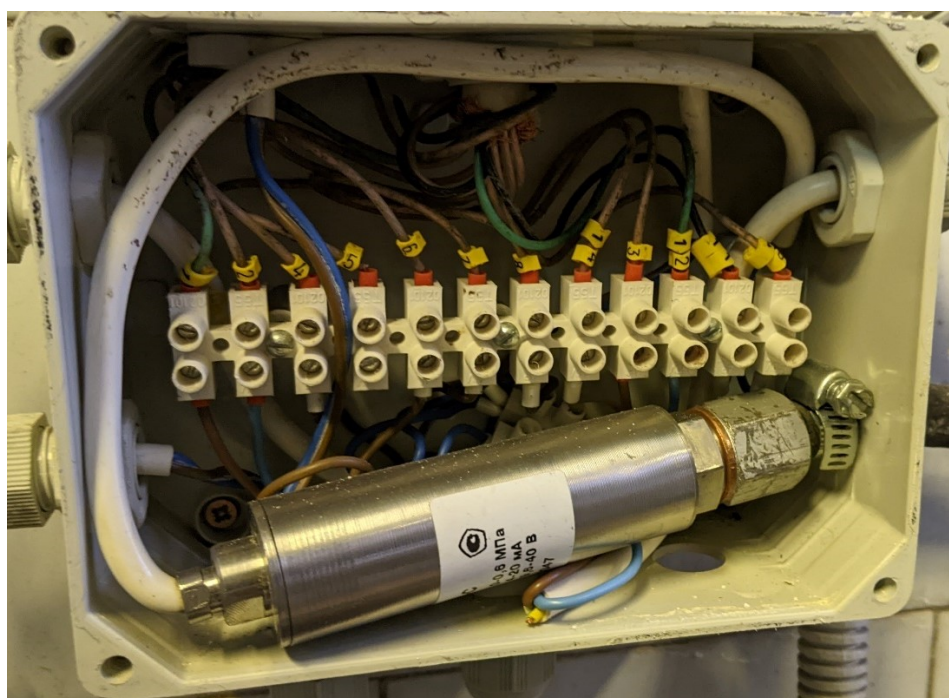


Рисунок 4.19 – Вид соединительной коробки изнутри

Для измерения температуры внутри кармана стерилизационной камеры автоклава используется термопреобразователь ТСМУ/1-0288 (рисунок 4.20) с линейно возрастающей характеристикой в диапазоне от 0 до 150 градусов Цельсия и унифицированным выходным сигналом постоянного тока от 4 до 20 мА и напряжением питания 24 В постоянного тока.



Рисунок 4.20 – Внешний вид термопреобразователя

Высокотемпературный датчик давления КРТ-С-0,6-0,5 (рисунок 4.21) со встроенным тензопреобразователем используется для пропорционального преобразования избыточного давления жидкости/газа или паров в унифицированный выходной сигнал постоянного тока от 4 до 20 мА.



Рисунок 4.21 – Внешний вид датчика давления

Основные технические характеристики модулей I-7018 и I-7050, датчиков температуры и давления представлены в Приложении Б.

Поскольку САУСТ-1Е используется инженерами-технологами МАУ в рамках исследований, то главная задача модернизации была в минимизации

новых подключений к существующей системе управления автоклавом и сохранении ее работоспособности. Решением проблемы стала организация соединения сенсорного панельного контроллера ОВЕН СПК-107 (рисунок 4.22) с модулями ввода/вывода через существующий промышленный интерфейс RS-485 по протоколу DCON.



Рисунок 4.22 – Внешний вид СПК107

В программу управления, запущенную на СПК-107, от модулей I-7018 и I-7050 приходят следующие сигналы:

- о включении тумблера «Автомат»;
- срабатывании датчика верхнего уровня воды в автоклаве;
- значения температуры и давления в стерилизационной камере.

Аналогично по протоколу DCON от СПК-107 к модулям ввода/вывода щита ручного управления передаются сигналы открытия/закрытия клапанов подачи воды, пара, воздуха, спуска и слива.

В процессе эксплуатации автоклава Н2-ИТА602 все данные (подробнее в п. 3.6) СПК-107 параллельно передает цифровому двойнику автоклава.

Структурная схема передачи сигналов в полученной системе управления представлена на рисунке 4.23.

Цифровой двойник автоклава Н2-ИТА602

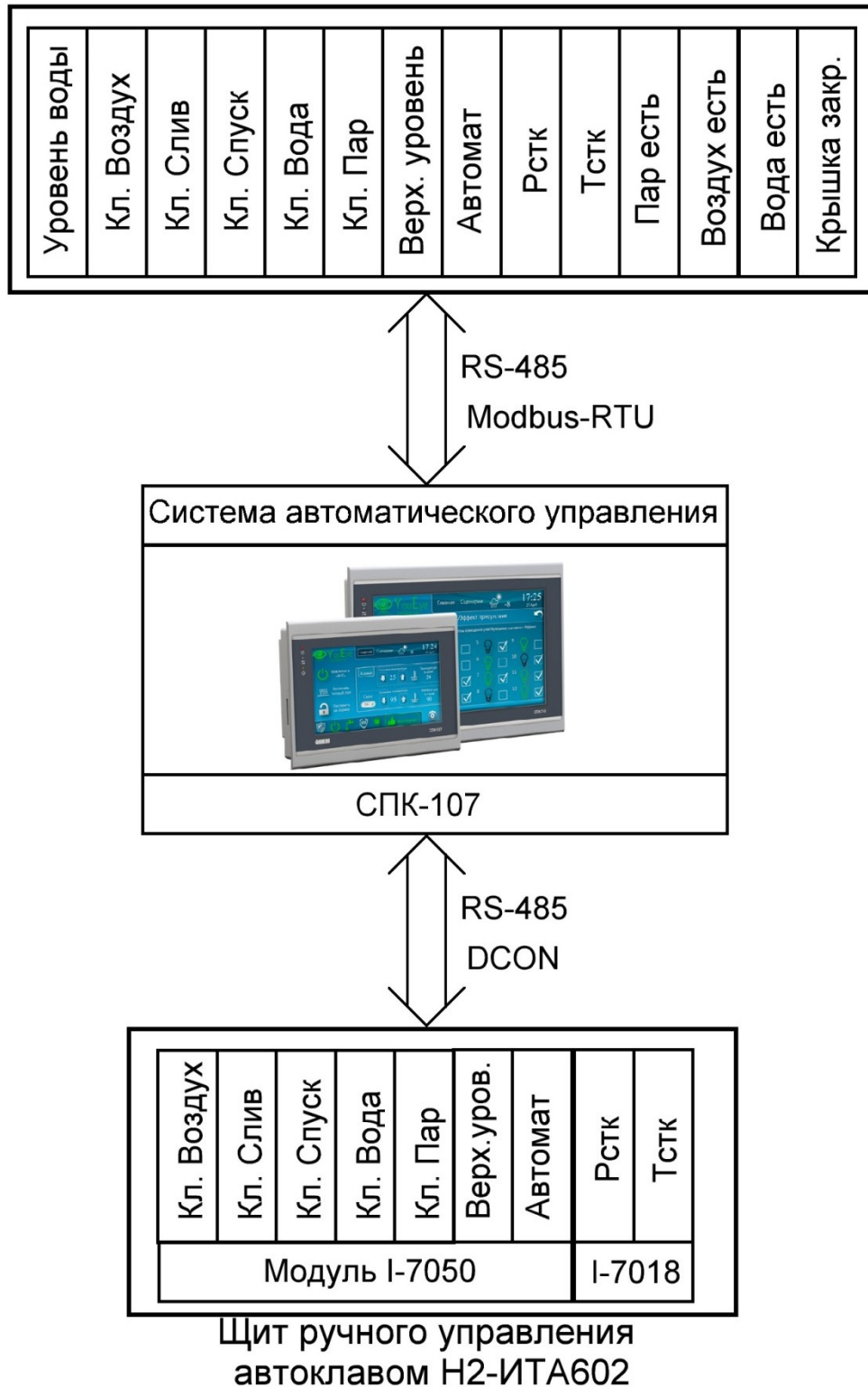


Рисунок 4.23 – Структурная схема передачи сигналов в новой системе управления

4.3 Реализация экспертной системы

Представлена реализация экспертной системы АСНИ для оценки влияния этапов нагрева и охлаждения автоклава на F-эффект в среде MATLAB с использованием средств нечеткой логики.

4.3.1 Этап нагрева

Согласно пункту 2.2 входными переменными для инструментов нечеткого вывода являются:

- начальная температура продукта (T_{b_prod});
- начальная температура греющей среды стерилизационной камеры автоклава (T_{b_acl});
- продолжительность процесса нагрева автоклава в минутах (t).

Для реализации входных переменных используются функции принадлежности, образованные двумя функциями распределения Гаусса.

Выходной переменной является фактический стерилизующий эффект, набираемый при охлаждении стерилизационной камеры автоклава, выраженный в процентах от общего F-эффекта. Вывод значения осуществляется с использованием алгоритма Мамдани.

Пример реализации блока экспертной системы для этапа нагрева с данными из таблиц 2.1-2.3 представлен на рисунках 4.24-4.27.

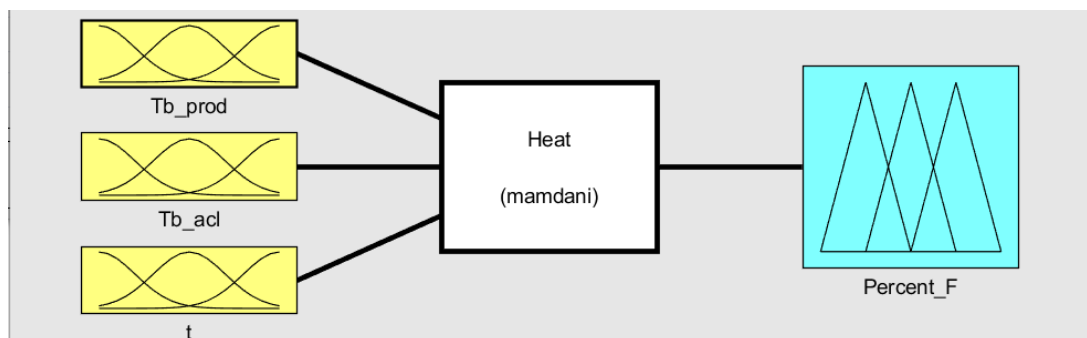


Рисунок 4.24 – Схема нечеткого вывода для параметров нагрева

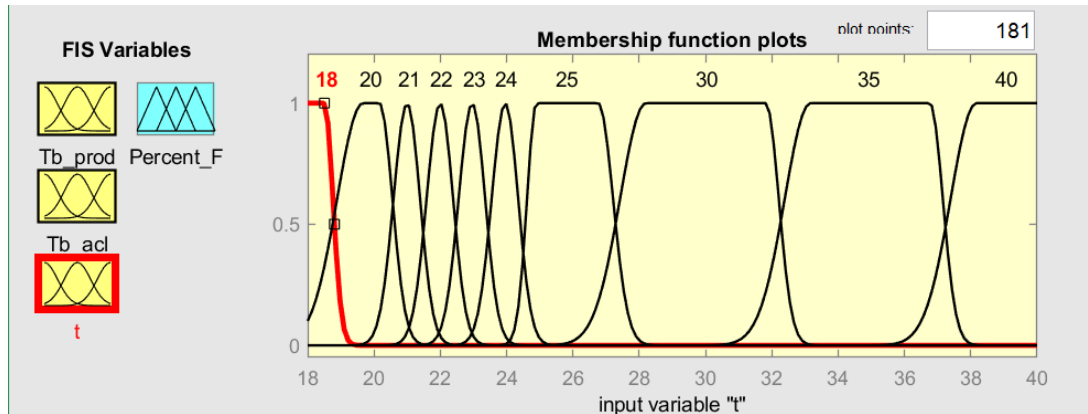
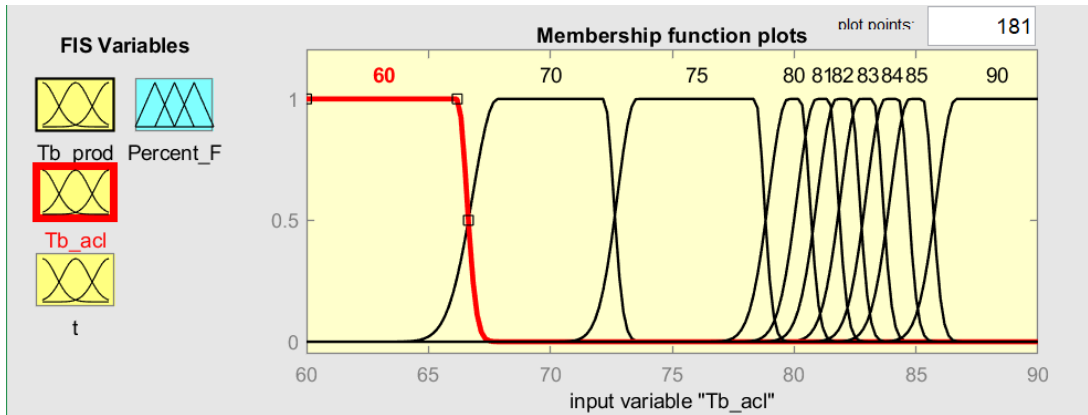
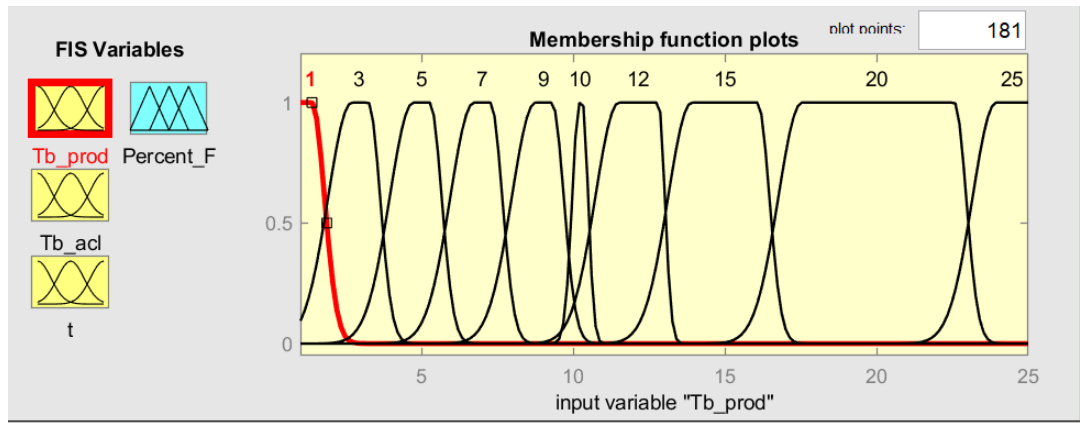


Рисунок 4.25 – Функции принадлежности входных переменных

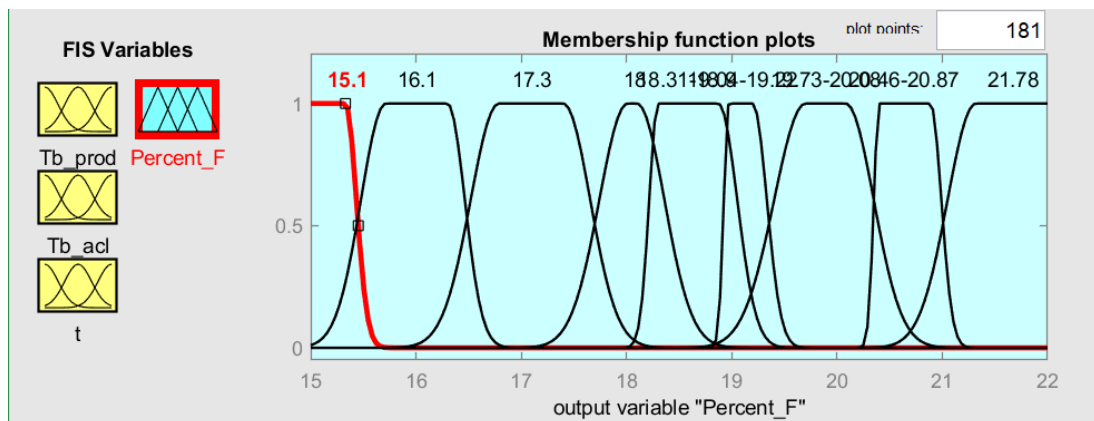


Рисунок 4.26 – Функции принадлежности выходной переменной

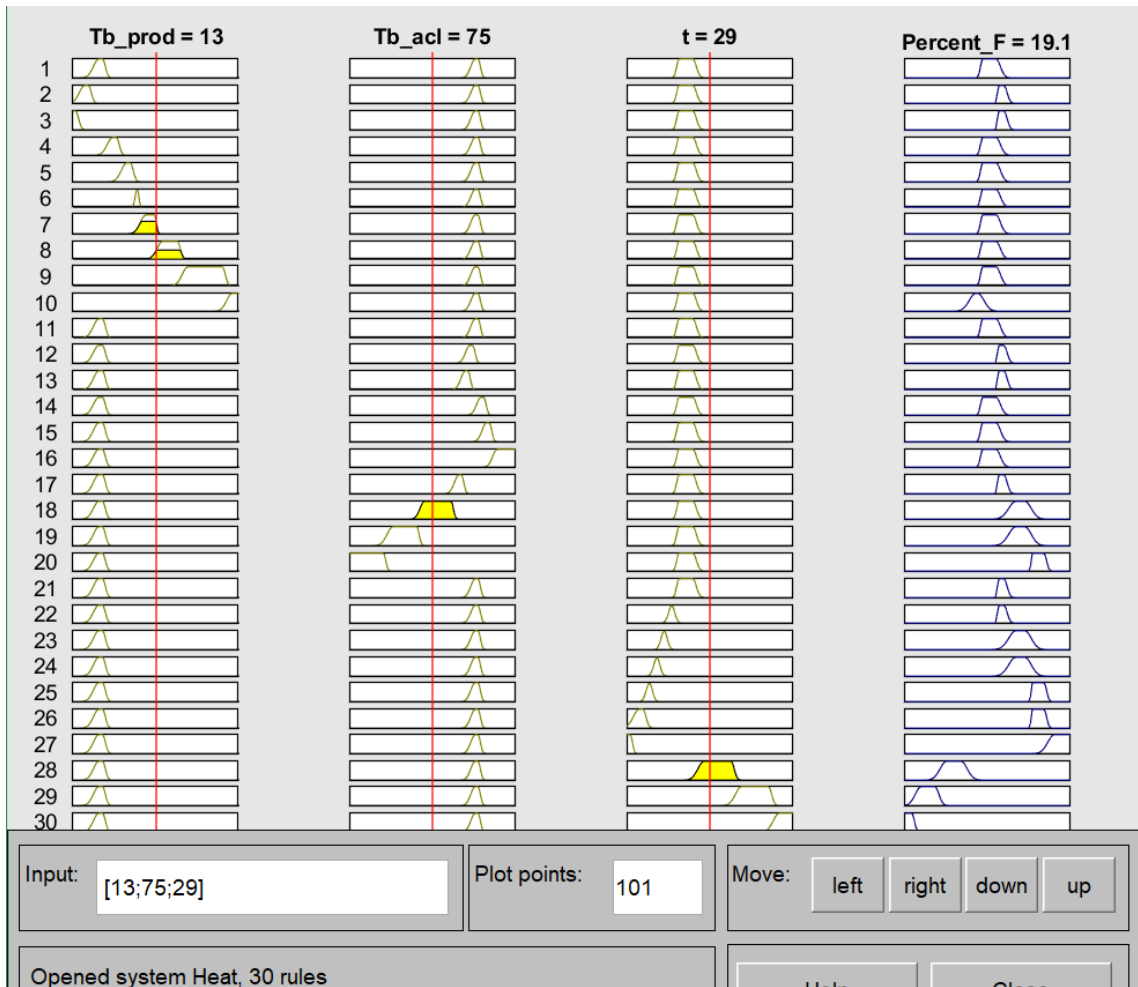


Рисунок 4.27 – Правила нечеткого вывода для параметров нагрева

4.3.2 Этап нагрева

Входными переменными для инструментов нечеткого вывода (выбраны согласно рисунку 2.7) являются:

- температура стерилизационной камеры автоклава в конце первого подэтапа охлаждения (T_2);
- продолжительность первого подэтапа охлаждения стерилизационной камеры автоклава в минутах (t_{12});
- продолжительность первого подэтапа охлаждения стерилизационной камеры автоклава в минутах (t_{23}).

Температуры T_1 и T_3 являются постоянными, равны 115 и 15 °C соответственно.

Для реализации входных переменных используются функции принадлежности, образованные двумя функциями распределения Гаусса.

Выходной переменной является фактический стерилизующий эффект, набираемый при охлаждении стерилизационной камеры автоклава, выраженный в процентах от общего F-эффекта. Вывод значения осуществляется с использованием алгоритма Мамдани.

Пример реализации блока экспертной системы для этапа охлаждения с данными из таблиц 2.11 представлен на рисунках 4.28-4.31.

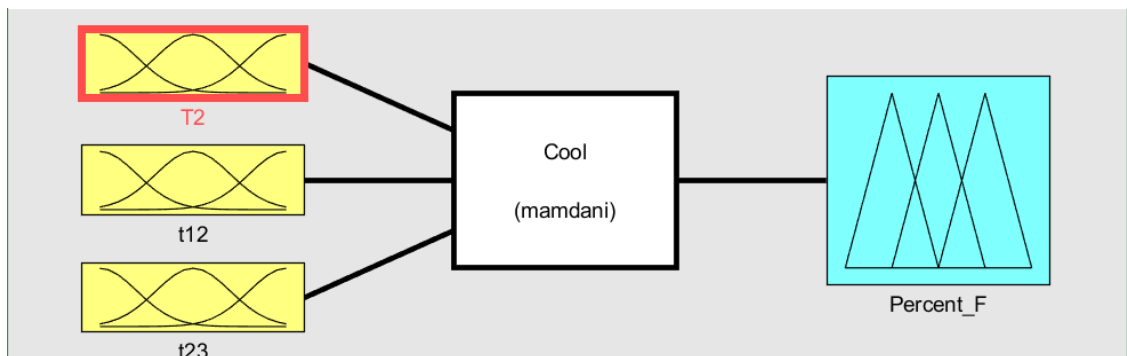


Рисунок 4.28 – Схема нечеткого вывода для параметров охлаждения

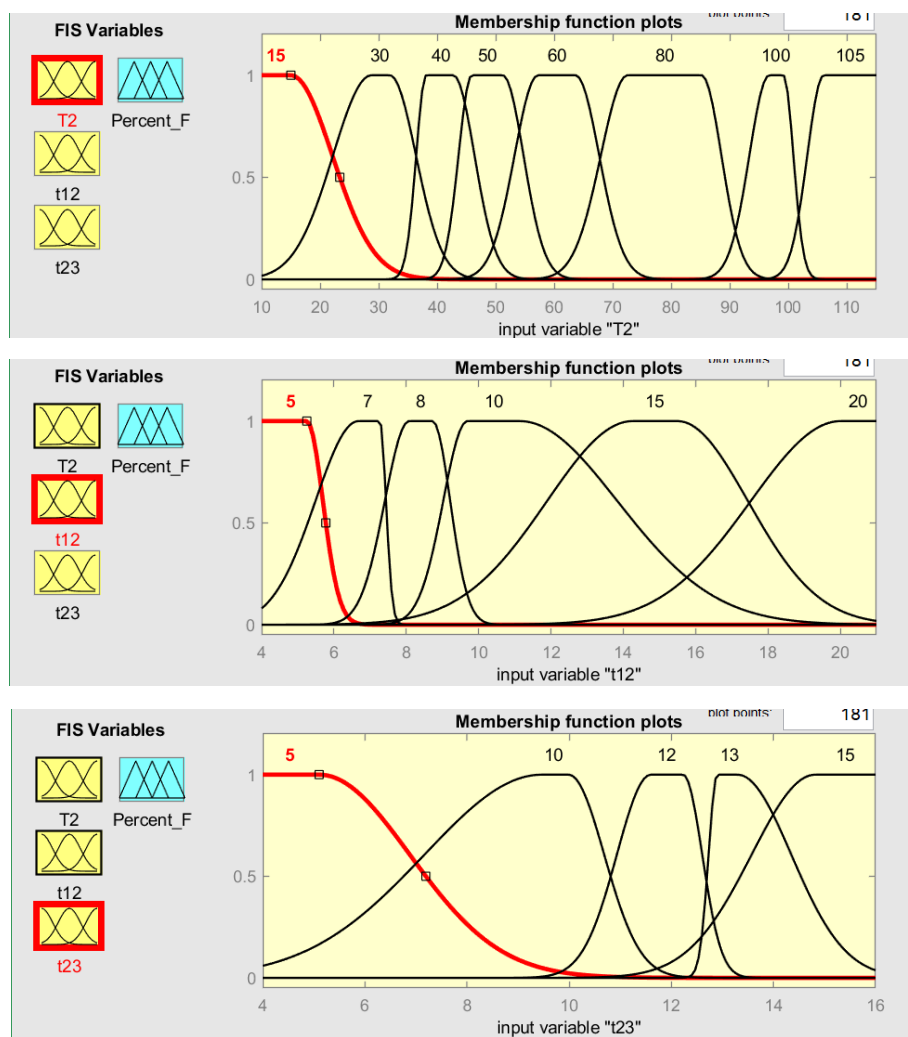


Рисунок 4.29 – Функции принадлежности входных переменных

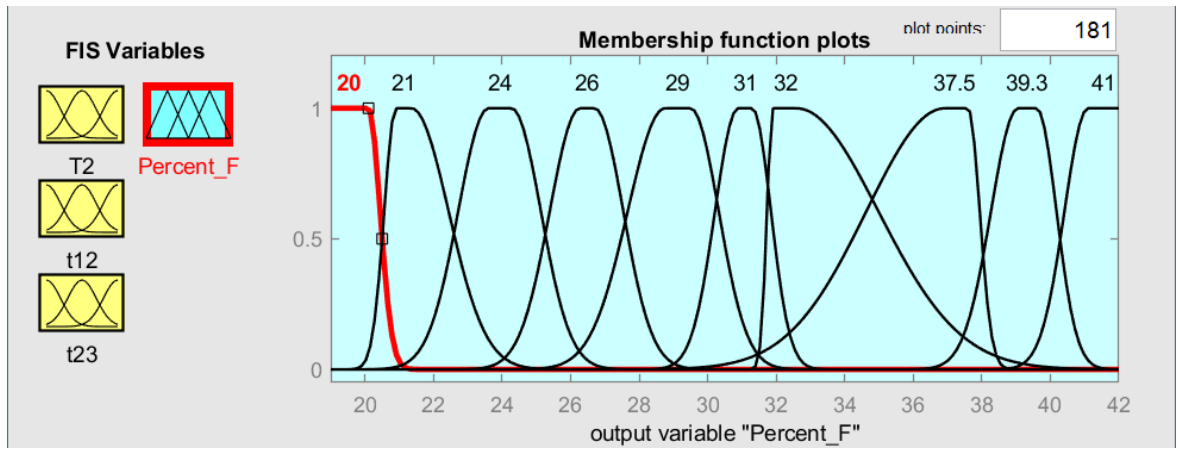


Рисунок 4.30 – Функции принадлежности выходной переменной

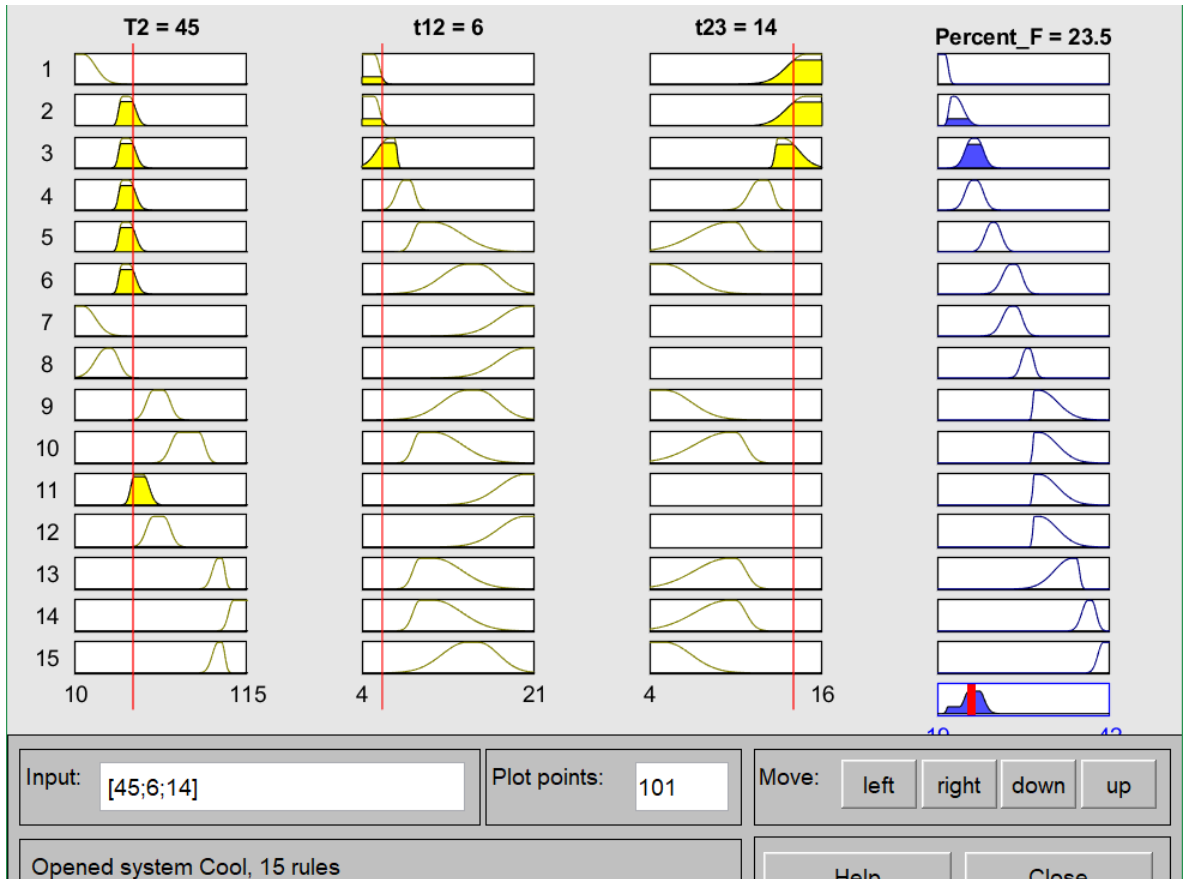


Рисунок 4.31 – Правила нечеткого вывода для параметров охлаждения

Выводы по главе 4

1. Реализован блок имитационного моделирования автоклава в составе АСНИ в среде MATLAB.

2. Рассмотрена реализация блока физического моделирования АСНИ в виде автоматизированной системы «Программа управления водной стерилизацией в АВК-30М», используемой в качестве физического двойника промышленного автоклава, и разработанной системы автоматического управления Н2-ИТА602 для организации двусторонней связи с цифровым двойником.

3. Рассмотрены примеры реализации экспертной системы АСНИ для оценки влияния этапов нагрева и охлаждения автоклава на F-эффект.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

1. Представлена классификация режимов стерилизации пищевых продуктов в водной среде в вертикальном автоклаве периодического действия по признаку изменения температурного профиля греющей среды.

2. Представлена модернизированная экономичная методика разработки нового режима стерилизации пищевого продукта для промышленного автоклава на этапе предварительного подбора, которая позволила сократить потребление электроэнергии и расхода сырья до 95 процентов на один цикл. Модернизированная экономичная методика позволит рыбопромышленным предприятиям повысить свою эффективность в рамках концепции бережливого производства.

3. Предложен новый способ управления процессом стерилизации пищевых продуктов с использованием математической модели продукта, который предусматривает определение прогнозируемого значения F-эффекта процесса при помощи измерения температуры среды автоклава и математического моделирования динамики температуры пищевого продукта в консервной таре, а также вычисление разности между прогнозируемым фактическим значением и заданным значением эффекта стерилизации. В зависимости от этой разности осуществляют термообработку продукта до достижения прогнозируемым значением фактической летальности заданного значения, после чего выполняют этап охлаждения консервов согласно режиму. Применение нового способа может повысить эффективность процесса тепловой обработки на 15-20 процентов.

4. Представлена структура разрабатываемой АСНИ. Выполнены задачи разработки недостающих компонентов АСНИ: программного комплекса, базы данных и экспертной системы. Рассмотрена реализация блоков имитационного и физического моделирования, а также экспертной системы АСНИ. Программное обеспечение «Модель автоклава для тренажера процесса стерилизации» преобразовано для использования в качестве цифрового двойника автоклава.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АиВТ – автоматика и вычислительная техника

АС – автоматизированная система

АСНИ – автоматизированная система научных исследований

ВРТО – переменный режим термической обработки

ВС – водная стерилизация

ВятГУ – Вятский государственный университет

ГОСТ – государственный стандарт

Дальрыбвтуз – Дальневосточный государственный технический
рыбохозяйственный университет

МАУ – Мурманский арктический университет

МГТУ – Мурманский государственный технический университет

ОС – операционная система

ПО – программное обеспечение

ПУ – программа управления

САУ – система автоматического управления

ТПП – технологии пищевых производств

ФГАОУ ВО – Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования

ФГБНУ «АтлантНИРО» – Федеральное государственное бюджетное научное
учреждение «Атлантический научно-исследовательский институт рыбного
хозяйства и океанографии» (сейчас Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО»)

ФГБОУ ВО – Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

ФГБОУ ВПО – Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования

ЦД – цифровой двойник

AMIGO – Advanced Model Identification using Global Optimization
(Усовершенствованная идентификация модели с использованием глобальной
оптимизации)

HTST – High Temperature Short Time (кратковременный высокотемпературный режим)

IDE – Integrated Development Environment (интегрированная среда разработки)

IDEF – I-CAM DEFinition или Integrated DEFinition (методологии семейства Integrated Computer-Aided Manufacturing для решения задач моделирования сложных систем)

Modbus – открытый коммуникационный протокол, основанный на архитектуре ведущий-ведомый

RS-485 – Recommended Standard 485 (стандарт физического уровня для асинхронного интерфейса)

RTU – Remote Terminal Unit (устройство связи с объектом)

USB – Universal Serial Bus (универсальная последовательная шина)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об утверждении Стратегии развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года / Распоряжение Правительства РФ от 8 сентября 2022 года №2567-р. – URL: <http://static.government.ru/media/files/G3hzRyrGPbmFAfBFgmEhxTrec694MaHp.pdf> (дата обращения: 10.10.2022).
2. Власов, А. В. Повышение эффективности стерилизации консервов паром в автоклавах: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.12 и 05.13.06 / А. В. Власов. – Мурманск, 2010. – 167 с.
3. Кайченев, А. В. Разработка и исследование модернизированного способа стерилизации консервов из гидробионтов: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.04, 05.13.06 / А. В. Кайченев. – Мурманск, 2011. – 191 с.: ил.
4. Доброскок, Л. П. Основы консервирования и техноконтроль: учеб. пособие / Л. П. Доброскок, Л. В. Кузнецова, В. Н. Тимофеева. - Минск: Вышэйшая школа, 2012. - 400 с. - URL: <https://ibooks.ru/bookshelf/28213/reading> (дата обращения 10.05.2023).
5. Бабарин, В. П. Стерилизация консервов : справочник / В. П. Бабарин. – Санкт-Петербург : ГИОРД, 2006. – 305, [1] с..
6. А. с. 163064 СССР, МПК А23L 3/10, G05B 19/02. – Способ автоматического регулирования процесса стерилизации консервов / А. А. Гуревич, Э. Г. Молодецкий, Б. Л. Флауменбаум. – № 773546/28-13; заявл. 10.04.1962; опубл. 27.05.1964, Бюл. № 11.
7. А. с. 348195 СССР, МПК А23L 3/02. – Способ стерилизации консервов в жестяных банках / А. А. Титова, Б. Л. Флауменбаум; заявитель: Одесский технологический институт им. М. В. Ломоносова. – № 1422114/28-13; заявл. 30.03.1970; опубл. 23.08.1972, Бюл. № 25.
8. А. с. 434929 СССР, МПК А23L 3/00, G01N 33/02, G01N 33/12. – Устройство для автоматического определения фактической летальности режима стерилизации консервов / В. П. Бабарин, И. М. Лобченко, О. Г. Фромзель; заявитель: Всесоюзный научно-исследовательский институт консервной и

овощесушильной промышленности. – № 1817861/28-13; заявл. 01.08.1972; опублик. 05.07.1974, Бюл. № 25.

9. Патент 2115342 С1 Российская Федерация, МПК А23L 1/325. – Способ приготовления пастеризованных рыбных консервов с ветчинной структурой / А. А. Квасницкая, А. В. Капитанова; заявитель и патентообладатель: Атлантический научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии. – № 96121852/13; заявл. 06.11.1996; опублик. 20.07.1998. – 5 с.

10. Патент 2216255 С2 Российская Федерация, МПК А23L 3/00, G01N 33/12. – Способ определения продолжительности пастеризации консервов из рыбы и морских беспозвоночных / А. А. Квасницкая, С. А. Артюхова, Е. Т. Мартынова, А. В. Капитанова; заявитель и патентообладатель: Федеральное государственное унитарное предприятие Атлантический научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии. – № 2001120674/13; заявл. 23.07.2001; опублик. 20.11.2003. – 4 с.

11. А. с. 1697683 СССР, МПК А23В 4/005, А23L 3/00. – Способ производства консервов из измельченной рыбы / С. А. Голубев, Т. Н. Рулева; заявитель: ЦНИИТЭИРХ, Калининград. – № 4624261; заявл. 26.12.1988; опублик. 15.12.1991, Бюл. № 46.

12. А. с. 1722401 СССР, МПК А23L 3/02. – Способ пастеризации рыбных продуктов в банках / С. А. Голубев, Т. Н. Рулева; заявитель: ЦНИИТЭИРХ, Калининград. – № 4646952; заявл. 07.02.1989; опублик. 30.03.1992, Бюл. № 12.

13. Флауменбаум Б. Л., Голубев С. А. Смягчение режимов тепловой обработки рыбных консервов путем тиндализации // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – Краснодар, изд-во: Кубанский государственный технологический университет, 1990. – № 5 (198). – С. 61-62.

14. Патент 2320237 С1 Российская Федерация, МПК А23L 3/00, G01N 33/00. – Способ контроля режима стерилизации консервов / В. П. Филиппович, В. П. Бабарин, С. В. Ломачинский, О. И. Квасенков; заявитель и патентообладатель: Всероссийский научно-исследовательский консервной и овощесушильной

промышленности (государственное научное учреждение). – № 2006139722/13; заявл. 10.11.2006; опубл. 27.03.2008. – 4 с.

15. Патент 2378956 С1 Российская Федерация, МПК А23L 1/325. – Способ производства консервов из морепродуктов или рыбы / В. Д. Богданов, Н. С. Васильева; заявитель и патентообладатель: ФГОУ ВПО "Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет". – № 2008134267/13; заявл. 20.08.2008; опубл. 20.01.2010. – 8 с.

16. Маслов А. А., Власов А. В., Кайченков А. В. Исследование динамики теплообмена в стерилизационной камере автоклава // Рыбное хозяйство. – М.: ФГБУ «ЦУРЭН», 2009. – № 6. – С. 77–79.

17. Патент 94418 U1 Российская Федерация, МПК А23L 3/00, А23L 3/10. – Стерилизационная установка / А. А. Маслов, А. В. Власов, А. В. Кайченков; заявитель и патентообладатель: ФГБОУ ВПО «МГТУ». – № 2010105537/22; заявл. 16.02.2010; опубл. 27.05.2010. – 2 с.

18. Патент 2471387 С1 Российская Федерация, МПК А23L 3/00. – Способ управления процессом стерилизации консервов, основанный на F-эффекте / В. А. Гроховский, А. В. Власов, А. Р. Власова, А. В. Кайченков, А. А. Маслов; заявитель и патентообладатель: ФГОУ ВПО «МГТУ». – № 2011124095/13; заявл. 14.06.2011; опубл. 10.01.2013, Бюл. № 1. – 7 с.

19. Кайченков А. В. Совершенствование способа стерилизации консервов из гидробионтов / А. В. Кайченков [и др.] // Рыбное хозяйство. – М.: ФГБУ «ЦУРЭН», 2011. – № 3. – С. 112–113.

20. Кайченков А. В. Оптимизация процесса стерилизации консервов в водной среде в автоклаве АВК-30М / А. В. Кайченков [и др.] // Вестник МГТУ. – Мурманск: Изд-во МГТУ, 2012. – Т. 15, № 1. – С. 49–53.

21. Мокрушин С.А., Хорошавин В.С., Филатова Е.С., Русяева Т.Л. Управление процессами тепловой обработки пищевых продуктов // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6..

22. Мокрушин С. А., Хорошавин В. С. Обзорный анализ стерилизаторов консервов с целью их дальнейшей автоматизации // Сб. мат. Всерос. ежегодн.

науч.-техн. конф. «Общество, наука, инновации» (НТК-2012), Киров, 16-27 апреля 2012 г. – Киров: Изд-во ВятГУ, 2012. – С. 1131-1134.

23. Мокрушин С. А., Хорошавин В. С. Исследование типовой конструкции автоклава с целью дальнейшей автоматизации процесса стерилизации // Сб. мат. всерос. ежегодн. науч.-техн. конф. «Общество, наука, инновации» (НТК-2012), Киров, 16-27 апреля 2012 г. – Киров: Изд-во ВятГУ, 2012. – С. 1135-1138.

24. Мокрушин С. А., Охапкин С. И., Афанасьев С. Г. Модель системы управления тепловыми процессами // Сб. мат. всерос. ежегодн. науч.-практ. конф. «Общество, наука, инновации» (НПК-2013), Киров, 15-26 апреля 2013 г. – Киров: Изд-во ВятГУ, 2013. – С. 1168–1172.

25. Мокрушин С. А., Охапкин С. И., Хорошавин В. С. Исследование процесса стерилизации консервной продукции с целью дальнейшей автоматизации // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». – СПб.: НИУ ИТМО, 2015. – № 4. – С. 62–72.

26. Мокрушин С. А., Охапкин С. И., Москвин Э. В. Особенности построения системы управления процессом тепловой обработки пищевых продуктов в автоклавах // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ, 2015. – № 10. – С. 45–49.

27. Свидетельство № 2017612219 – Управление процессом стерилизации консервов в автоклаве: программа для ЭВМ / С. А. Мокрушин (RU); правообладатель ФГБОУ ВО «ВятГУ». – № 2016664775; заявл. 30.12.2016; опубл. 17.02.2017. – 173 Кб.

28. 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.

29. Обзор методов многоцелевой оптимизации термической обработки продуктов / А. В. Столянов, А. В. Кайченев, А. А. Маслов [и др.] // Перспективы развития науки и образования : сб. науч. тр. по материалам междунар. науч.-практ. конф., Москва, 28 ноября 2014 г. : в 5 частях. – М. : АР-Консалт, 2014. – Ч. III. – С. 17-22.

30. Столянов А. В., Жук А. А., Ерещенко В. В. Компьютерное моделирование как перспективное направление оптимизации процесса тепловой стерилизации консервной продукции. Обзор существующих решений // Наука - производству : материалы междунар. науч.-практ. конф., Мурманск, 24-27 марта 2015 г. – Мурманск: Изд-во МГТУ, 2015. – С. 59-63.

31. Кайченев А. В. Сопоставление модернизированного и традиционного способов стерилизации консервов / А. В. Кайченев [и др.] // Вестник МГТУ. – Мурманск: Изд-во МГТУ, 2013. – Т. 16, № 3. – С. 560–565..

32. Holdsworth, S. D. Optimization of Thermal Processing – A Review // Journal of Food Engineering. – Elsevier, 1985. – Vol. 4. – P. 89–116.

33. Teixeira, A. A. Computer Simulation of Thermal Processing for Canned Food Sterilization / A. A. Teixeira // Food Properties and Computer-Aided Engineering of Food Processing Systems, NATO ASI Series (Series E: Applied Sciences). – Springer Science+Business Media B.V., 1989. – Vol. 168. – P. 543–552.

34. Teixeira, A. A. On-line retort control in thermal sterilization of canned foods / A. A. Teixeira, G. S. Tucker // Food Control. – Elsevier, 1997. – Vol. 8, Issue 1. – P. 13–20.

35. Banga, J. R. Improving food processing using modern optimization methods / J. R. Banga, E. Balsa-Canto, C. G. Moles, A. A. Alonso // Trends in Food Science & Technology. – Elsevier, April 2003. – Vol. 14, Issue 4. – P. 131–144.

36. Erdogdu, F. Optimization in Food Engineering. – CRC Press: Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, 2009. – 787 p.

37. Sendin J., Alonso A., Banga J., Efficient and robust multi-objective optimization of food processing: a novel approach with application to thermal sterilization // Journal of Food Engineering. – 2010. – Vol. 98, Issue 3. – P. 317–324.

38. Optimal on-line decision making for food thermal processes / Alonso A., Arias-Mendez A., Balsa-Canto E. [et. al] // 11th International Congress on Engineering and Food, May 22–26, Athens (Greece). – 2011. – P. 281–282.

39. Abakarov A. Thermal food processing optimization: Algorithms and software / A. Abakarov, M. Nuñez // *Journal of Food Engineering*. – Elsevier, April 2013. – Vol. 115, Issue 4. – P. 428–442.

40. A multi-criteria optimization and decision-making approach for improvement of food engineering processes / A. Abakarov, Yu. Sushkov, R. H. Mascheroni // *International Journal of Food Studies*. – ISEKI Food Association, April 2013. – Vol. 2. – P. 1–21.

41. Маслов А. А., Столянов А. В., Кайченев А. В., Куранова Л. К. Предварительный подбор режима стерилизации консервов "Скумбрия атлантическая натуральная с добавлением масла" на основе разработанных математических моделей процесса // *Вестник МГТУ*, 2016. – Т. 19, № 4. – С. 861–868.

42. Реализация программы автоматического подбора параметров режима стерилизации консервной продукции / А. В. Власов [и др.] // *Наука и образование – 2014: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Мурманск, 24–28 марта 2014 г./ ФГБОУ ВПО "МГТУ". – Электрон. текст. дан. – Мурманск, 2014..*

43. Разработка режимов стерилизации консервов из гидробионтов с использованием средств вычислительной техники / А. В. Кайченев [и др.] // *Вестник МГТУ. – Мурманск, 2014. – Т. 17, № 1. – С. 46–52.*

44. Солодов В. С. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов [Текст] / В. С. Солодов. – Мурманск: Изд-во МГТУ, 2012. – 204 с.

45. Бородин А. В. Автоматизированный расчет термограмм стерилизации и пастеризации // *Мясные технологии*. — 2012. — № 6 (114). — С. 40-43.

46. Erdogdu F. Mathematical Modeling for Virtualization in Food Processing / F. Erdogdu, F. Sarghini, F. Marra // *Food Engineering Reviews*. – June 2017. – Vol. 9. – P. 295–313.

47. Chen C R, Ramaswamy H S Multiple Ramp-variable Retort Temperature Control for Optimal Thermal Processing // *FOOD BIOPROD PROCES*. – 2004. – Vol. 82, Issue 1. – P. 78–88.

48. Durance T D, Dou J, Mazza J Selection of variable retort temperature processes for canned salmon // J Food Process Eng. – 1997. – Vol. 20. – P. 65–76.

49. Almonacid-Merino S F, Simpson R, Torres J A Time-variable retort temperature profiles for cylindrical cans: Batch process time, energy consumption, and quality retention model // J Food Process Eng. – 1993. – Vol. 16. – P. 271–287.

50. Banga J R et al. Optimization of thermal processing of conduction-heated canned foods: Study of several objective functions // J Food Eng. – 1991. – Vol. 14. – P. 25–51.

51. Noronha J et al Optimization of surface quality retention during the thermal processing of conduction heated foods using variable temperature retort profiles // J Food Process Preserv. – 1993. – Vol. 51. – P. 1297–1301.

52. Simpson R et al. 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. – 2020. – DOI 10.1016/j.jfoodeng.2019.109839.

53. Chen C R, Ramaswamy H S Modeling and optimization of variable retort temperature (VRT) thermal processing using coupled neural networks and genetic algorithms // J Food Eng. – 2002. – Vol. 53, Issue 3. – P. 209–220.

54. Использование нейронных сетей как фактора повышения качества и безопасности производства пищевых продуктов при решении задач автоматизации / Д. А. Еделев, М. М. Благовещенская, И. Г. Благовещенский // Автоматизация технологических и бизнес-процессов. – Одесса: ОНАПТ, 2015. – Т. 1, № 7(1). – С. 7-10.

55. Mokrushin S A et al. Simulation of the technological process of sterilization of canned food in an industrial autoclave // Storage and processing of Farm Products. – 2020. – Vol.1. – P. 118–126. – DOI 10.36107/spfp.2020.157.

56. Teixeira A A, Zinmeister G E, Zahradnik J W Computer simulation of variable retort control and container geometry as a possible means of improving thiamine retention in thermally processed foods // J Food Sci. – 1975. – Vol 40. – P. 656–659.

57. 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.

58. Паровой стерилизатор ВК-30: паспорт / Тюмен. завод мед. оборудования и инструментов. – Тюмень: [б. и.], 1983. – 40 с.

59. 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. – Institute of Physics Publishing, 2019. – DOI 10.1088/1755-1315/403/1/012016.

60. 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. – Institute of Physics Publishing, 2020. – DOI 10.1088/1755-1315/539/1/012086.

61. Исследование температурного поля промышленного автоклава ASCAMAT 230 / А. В. Столянов [и др.] // Вестник МГТУ. – Мурманск: Изд-во МГТУ, 2017. – Т. 20, № 3. – С. 563–571.

62. Жук А. А., Кайченев А. В., Столянов А. В. Модернизация системы автоматического управления промышленного автоклава ASCAMAT-230 для проведения научных исследований // Наука и образование – 2017: мат. всерос. науч.-практ. конф., Мурманск, 27 марта 2017 г. – Электрон. текст. дан (2,2 Mb) – Мурманск: Изд-во МГТУ, 2017.

63. Технологическая инструкция по стерилизации консервов в сеточных автоклавах отечественного производства / Министерство рыбного хозяйства СССР. – Ленинград: Гипрорыбфлот, 1990. – 25 с.

64. 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. – IOP Publishing, 2019. – DOI 10.1088/1755-1315/302/1/012031.

65. Numerical Recipes. The Art of Scientific Computing / Press W. H. [et al.] // Third Edition. – New York : Cambridge University Press, 2007. – 1262 p.

66. Флауменбаум Б. Л. Основы консервирования пищевых продуктов / Б. Л. Флауменбаум, С. С. Танчев, М. А. Гришин. - М.: Агропромиздат, 1986. - 493 с.: ил.

67. Свидетельство № 2020665739 – ProcessF: программа для ЭВМ / А. В. Столянов, А. А. Жук (RU); правообладатель ФГАОУ ВО «МГТУ». – № 2020665107; заявл. 17.11.2020; опубл. 30.11.2020, Бюл. № 12. – 13,5 Кб.

68. Столянов, А. В. Разработка программного обеспечения для оптимизации времени при получении данных о процессе тепловой обработки продуктов // Известия высших учебных заведений. Арктический регион. – 2020. – №1. – С. 38-42.

69. Свидетельство № 2017612613 – Modeller: программа для ЭВМ / А. В. Столянов, А. В. Кайченев, А. В. Власов, А. А. Маслов, А. А. Жук, В. В. Ерещенко (RU); правообладатель ФГБОУ ВО «МГТУ». – № 2016661749; заявл. 02.11.2016; опубл. 01.03.2017. – 28 Кб.

70. Свидетельство № 2021613099. – ThermoPhysics: программа для ЭВМ / А. А. Жук, А. В. Столянов (RU); правообладатель ФГАОУ ВО «МГТУ». – заявл. 16.02.2021, № 2021611973; опубл. 02.03.2021, Бюл. № 3. – 41 Кб.

71. Столянов А. В. Прогнозирование значения фактического стерилизующего эффекта готовых консервов из гидробионтов // Наука и образование-2021: материалы всерос. науч.-практ. конференции, Мурманск, 01 декабря 2021 года. – Мурманск: МГТУ, 2022. – С. 80-85.

72. Дикис М.Я., Мальский А.Н. Технологическое оборудование консервных заводов. – М.: Пищевая промышленность, 1969.- 779 с.

73. ГОСТ 5981-2011 Банки и крышки к ним металлические для консервов. Технические условия / Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – М.: Стандартинформ, 2019. – 24 с.

74. 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.

75. Гроховский, В. А. Научное обоснование и создание инновационных технологий изготовления продуктов из гидробионтов Арктического региона: дис. ... доктор техн. наук: 05.18.04 / В. А. Гроховский. – Мурманск, 2012. – 732 с.

76. Кайченков, А. В. Разработка режимов стерилизации консервов из гидробионтов с использованием средств вычислительной техники / А. В. Кайченков [и др.] // Вестник МГТУ. – Мурманск: Изд-во МГТУ, 2014. – Т. 17, № 1. – С. 46–52.

77. 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.

78. Абакаров, А. Ш. Оптимизация процесса стерилизации продуктов питания в автоклавах // Молодой ученый. — 2010. — № 11 (22). — Т. 1. — С. 43-50.

79. Патент 2789344 С1 Российская Федерация, МПК А23L 3/00. – Способ управления процессом тепловой обработки консервов из гидробионтов / А. А. Жук, А. В. Кайченков, А. В. Столянов, В. А. Гроховский, Л. К. Куранова; заявитель и патентообладатель: ФГАОУ ВО «МГТУ». – № 2022102988; заявл. 07.02.2022; опубл. 01.02.2023, Бюл. № 4. – 12 с.

80. Столянов А. В., Кайченков А. В., Власов А. В., Маслов А. А. Экономичная методика разработки режимов стерилизации консервов из гидробионтов для промышленных автоклавов // Вестник МГТУ, 2015. – № 4.

81. Kaychenov A, Stolyanov A, Zhuk A Lean method for development of thermal treatment regimes for canned food from aquatic organisms for industry autoclaves //

International Conference P2ARM 2021, IOP Conf. Ser.: Earth and Environ. Sci. – 2022. – Vol. 1052, 012068..

82. Свидетельство № 2015663349 – Модель автоклава для тренажера процесса стерилизации: программа для ЭВМ / А. В. Власов [и др.] (RU); правообладатель ФГБОУ ВПО «МГТУ». – № 2015660218; заявл. 27.10.2015; опубл. 20.01.2016. – 34,6 Кб.

83. ГКНТ СССР Общеотраслевые руководящие методические материалы по созданию автоматизированных систем научных исследований и комплексных испытаний образцов новой техники. – М. 1980.

84. Разработка модели автоклава для тренажера процесса стерилизации / А. В. Власов, А. В. Кайченков, А. В. Столянов [и др.] // Рыбное хозяйство. – 2015. – № 6. – С. 106–109.

85. 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. – EDP Sciences, 2021. – DOI 10.1051/e3sconf/202127313002.

86. 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.

87. 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.

88. Группа компаний «ФЭСТ» [Электронный ресурс]: ФЭСТ. – Режим доступа: <http://fest.msk.ru>. – Дата обращения: 27.01.2023.

89. Жук А. А., Кайченев А. В. Пастеризация продуктов из гидробионтов: обзор современных исследований и проблематика // Современные эколого-биологические и химические исследования, техника и технология производств: мат. междунар. науч.-практ. конф., Мурманск, 7 апреля 2017 г. : в 2 ч. / Федер. гос. бюджетное образоват. учреждение высш. образования «Мурм. гос. техн. ун-т». – Мурманск: Изд-во МГТУ, 2017. – Ч. 2. – С. 70–74.

90. 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 : сб. мат. регионального молодежного форума, посвященного 123-летию со дня рождения великого русского исследователя Арктики И. Д. Папанина, Мурманск, 16–17 ноября 2017 г. – Мурманск: МГТУ, 2017. – С. 18–21.

91. 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.

92. Квасницкая А. А., Капитанова А. В. Технология производства пастеризованных консервов из гидробионтов // Научные основы совершенствования технологии рыбных продуктов: сб. науч. тр. Атлант. НИИ рыб. х-ва и океаногр. – Калининград: АтлантНИРО, 2004. – С. 88-106.

93. Квасницкая А. А., Мартынова Е. Т., Капитанова А. В. Микробиологическое и технологическое обоснование режимов пастеризации консервов из гидробионтов // Научные основы совершенствования технологии рыбных продуктов: сб. науч. тр., Атлант. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. – Калининград: АтлантНИРО, 2004. – С. 71-87.

94. Методика изучения температурного поля греющей среды аппаратов периодического действия для стерилизации консервов : утв. 1983-01-17. – М. : Мин. рыб. хоз. СССР, 1983. – 14 с.

95. Разработка программного обеспечения расчета фактического летального эффекта процессов тепловой обработки консервов / А. А. Жук, А. В. Столянов, А. В. Кайченков, 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.

96. 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.

97. Стратегия развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года [Электронный ресурс] // Правительство Российской Федерации.

98. Simpson, R. et al. Simultaneous multi-product sterilization: Revisited, explored, and optimized // Journal of Food Engineering. – Elsevier, 2019. – Vol. 241. – P. 149–158. – DOI:10.1016/j.jfoodeng.2018.08.007.

99. Holdsworth S. D., Simpson R. Thermal Processing of Packaged Foods // Food Engineering Series. – 2016. – DOI: 10.1007/978-3-319-24904-9.

100. Selection of variable retort temperature processes for canned salmon / T. D. Durance, J. Dou, J. Mazza // Journal of Food Process Engineering. – Elsevier, 1997. – Vol. 20. – P. 65–76.

101. Abakarov, A. Software packages for food engineering needs // 2nd International Conference on Biotechnology and Food Science. – Singapore: IACSIT Press, 2011. – Vol. 7. – P. 27–31.

102. Разработка баз данных интеллектуальных экспертных систем автоматического контроля показателей качества пищевой продукции / И. М. Донник [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2018. – №4. – С. 126–138.

103. A digital learning tool based on models and simulators for food engineering (MESTRAL) / I. Suciu [et al.] // Journal of Food Engineering. – 2021. – Vol. 293. – DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2020.110375.

104. Optimal operation of thermal processing of canned tuna under product variability / J.L. Pitarch [et al.] // Journal of Food Engineering. – 2021. – Vol. 304. – DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2021.110594.

105. Si Zhu, Bing Li, Guibing Chen, Improving prediction of temperature profiles of packaged food during retort processing // Journal of Food Engineering. – 2022. – Vol. 313. – DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2021.110758.

106. Gilles T. Modelling of food and food processes // Journal of Food Engineering. – 2012. – Vol. 110, Issue 2. – P. 269–277.

СПИСОК РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ***Публикации в рецензируемых научных изданиях:***

1. Kaychenov A, **Stolyanov A**, Zhuk A Lean method for development of thermal treatment regimes for canned food from aquatic organisms for industry autoclaves // International Conference P2ARM 2021, IOP Conf. Ser.: Earth and Environ. Sci. – 2022. – Vol. 1052, 012068.

2. 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. – EDP Sciences, 2021. – Vol. 273, 13002.

3. 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 Conf. Ser.: Earth and Environ. Sci.: 5th International Conference "Arctic: History and Modernity" 18-19 March 2020. – Institute of Physics Publishing, 2020. – Vol. 539, 012086.

4. Complex for modeling and optimization the sterilization process / **A. Stolyanov**, A. Zhuk, A. Vlasov [et al.] // IOP Conf. Ser.: Earth and Environ. Sci.: 12th International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry, INTERAGROMASH 2019. – Institute of Physics Publishing, 2019. – Vol. 403, 012016.

5. 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 Conf. Ser.: Earth and Environ. Sci. – IOP Publishing, 2019. – Vol. 302, 012031.

6. Исследование температурного поля промышленного автоклава ASCAMAT 230 / **А. В. Столянов** [и др.] // Вестник МГТУ. – Мурманск: Изд-во МГТУ, 2017. – Т. 20, № 3. – С. 563–571.

7. Маслов А. А., **Столянов А. В.**, Кайченов А. В., Куранова Л. К. Предварительный подбор режима стерилизации консервов "Скумбрия атлантическая натуральная с добавлением масла" на основе разработанных

математических моделей процесса // Вестник МГТУ, 2016. – Т. 19, № 4. – С. 861–868.

8. Разработка модели автоклава для тренажера процесса стерилизации / А. В. Власов, А. В. Кайченев, **А. В. Столянов** [и др.] // Рыбное хозяйство. – 2015. – № 6. – С. 106–109.

9. **Столянов А. В.**, Кайченев А. В., Власов А. В., Маслов А. А. Экономичная методика разработки режимов стерилизации консервов из гидробионтов для промышленных автоклавов // Вестник МГТУ. – Мурманск: Изд-во МГТУ, 2015. – Т. 18, № 4. – С. 661–666.

10. Применение моделирования режимов тепловой стерилизации для улучшения показателей качества консервной продукции / **А. В. Столянов** [и др.] // Вестник МГТУ. – Мурманск: Изд-во МГТУ, 2015. – Т. 18, № 1. – С. 110–116.

Научные публикации в прочих изданиях

11. **Столянов А. В.** Прогнозирование значения фактического стерилизующего эффекта готовых консервов из гидробионтов // Наука и образование-2021: материалы всерос. науч.-практ. конференции, Мурманск, 01 декабря 2021 года. – Мурманск: МГТУ, 2022. – С. 80-85.

12. **Столянов, А. В.** Разработка программного обеспечения для оптимизации времени при получении данных о процессе тепловой обработки продуктов // Известия высших учебных заведений. Арктический регион. – 2020. – №1. – С. 38-42.

13. 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.

14. **Столянов А. В.**, Кайченев А. В., Власов А. В. Комплекс программных средств для оптимизации этапа предварительного подбора режимов стерилизации консервов из гидробионтов // Наука - производству: материалы междунар. науч.-практ. конф., Мурманск, 18–20 апреля 2018 г. – Мурманск: Изд-во МГТУ, 2018. – С. 86–89.

15. **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 междунар. науч.-практ. конф., Мурманск, 14–19 апреля 2017 г. – Мурманск: Изд-во МГТУ, 2017. – С. 77–81.

16. Жук А. А., Кайченев А. В., **Столянов А. В.** Модернизация системы автоматического управления промышленного автоклава ASCAMAT-230 для проведения научных исследований // Наука и образование – 2017: мат. Всерос. науч.-практ. конф., Мурманск, 27 марта 2017 г. – Электрон. текст. дан (2,2 Мб) – Мурманск: Изд-во МГТУ, 2017.

17. **Столянов, А. В.**, Кайченев А. В., Куранова Л. К. Совершенствование этапа предварительного подбора режимов стерилизации консервов из гидробионтов с использованием программного обеспечения // Наука - производству : мат. Всерос. науч.-практ. конф., Мурманск, 22–25 марта 2016 г. – Мурманск: Изд-во МГТУ, 2016. – С. 93-98.

18. **Столянов А. В.**, Жук А. А., Ерещенко В. В. Компьютерное моделирование как перспективное направление оптимизации процесса тепловой стерилизации консервной продукции. Обзор существующих решений // Наука - производству: материалы междунар. науч.-практ. конф., Мурманск, 24-27 марта 2015 г. – Мурманск: Изд-во МГТУ, 2015. – С. 59–63.

19. Обзор методов многоцелевой оптимизации термической обработки продуктов / **А. В. Столянов**, А. В. Кайченев, А. А. Маслов [и др.] // Перспективы развития науки и образования : сб. науч. тр. по материалам междунар. науч.-практ. конф., Москва, 28 ноября 2014 г. : в 5 частях. – М. : АР-Консалт, 2014. – Ч. III. – С. 17–22.

Патенты, свидетельства о регистрации программ для ЭВМ

20. Патент 2789344 С1 Российская Федерация, МПК А23L 3/00. – Способ управления процессом тепловой обработки консервов из гидробионтов / А. А. Жук, А. В. Кайченков, **А. В. Столянов**, В. А. Гроховский, Л. К. Куранова; заявитель и патентообладатель: ФГАОУ ВО «МГТУ». – № 2022102988; заявл. 07.02.2022; опубл. 01.02.2023, Бюл. № 4. – 12 с.

21. Свидетельство №2021613155. – Расчет летальности процесса тепловой обработки консервов: программа для ЭВМ / А. А. Жук, **А. В. Столянов**, А. В. Кайченков (RU); правообладатель ФГАОУ ВО «МГТУ». – № 2021612175; заявл. 16.02.2021; опубл. 03.03.2021, Бюл. № 3. – 5,6 Кб.

22. Свидетельство № 2021613099. – ThermoPhysics: программа для ЭВМ / А. А. Жук, **А. В. Столянов** (RU); правообладатель ФГАОУ ВО «МГТУ». – заявл. 16.02.2021, № 2021611973; опубл. 02.03.2021, Бюл. № 3. – 41 Кб.

23. Свидетельство № 2020665739 – ProcessF: программа для ЭВМ / **А. В. Столянов**, А. А. Жук (RU); правообладатель ФГАОУ ВО «МГТУ». – № 2020665107; заявл. 17.11.2020; опубл. 30.11.2020, Бюл. № 12. – 13,5 Кб.

24. Свидетельство № 2017612613 – Modeller: программа для ЭВМ / **А. В. Столянов**, А. В. Кайченков, А. В. Власов, А. А. Маслов, А. А. Жук, В. В. Ерещенко (RU); правообладатель ФГБОУ ВО «МГТУ». – № 2016661749; заявл. 02.11.2016; опубл. 01.03.2017. – 28 Кб.

СПИСОК ИЛЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА

- Рисунок 1.1 – Лабораторный автоклав АВК-30М
- Рисунок 1.2 – САУ процессом стерилизации в автоклаве АВК-30М
- Таблица 1.1 – Основные технические характеристики автоклавов
- Рисунок 1.3 – Промышленный автоклав АСКАМАТ-230
- Рисунок 1.4 – Штатная система управления автоклавом АСКАМАТ-230
- Рисунок 1.5 – Модернизированная система управления АСКАМАТ-230
- Рисунок 1.6 – Промышленный автоклав Н2-ИТА602
- Таблица 1.2 – Основные характеристики автоклава Н2-ИТА602
- Рисунок 1.7 – Логгеры температуры Ellab и Thermochron iButton
- Рисунок 1.8 – Внешний вид окна программы ProcessF
- Рисунок 1.9 – Внешний вид окна программы ThermoPhysics
- Рисунок 1.10 – Программно-целевая модель исследований
- Рисунок 2.1 – Графический вид режима «Процесс 1»
- Рисунок 2.2 – Табличный вид режима «Процесс 1»
- Рисунок 2.3 – Графический вид профиля «Процесс 2»
- Рисунок 2.4 – Табличный вид профиля «Процесс 2»
- Таблица 2.1 – Результаты при изменении $T_{н_прод}$ для «Процесс 1»
- Таблица 2.2 – Результаты при изменении $T_{н_авт}$ для «Процесс 1»
- Таблица 2.3 – Результаты при изменении $t_{нагр}$ для «Процесс 1»
- Таблица 2.4 – Результаты при изменении $T_{н_прод}$ для «Процесс 2»
- Таблица 2.5 – Результаты при изменении $T_{н_авт}$ для «Процесс 2»
- Таблица 2.6 – Результаты при изменении $t_{нагр}$ для «Процесс 2»
- Таблица 2.7 – План-матрица эксперимента
- Таблица 2.8 – Результаты проведения опытов
- Таблица 2.9 – Полученные значения коэффициентов регрессии
- Рисунок 2.5 – Моделирование процесса в программе PRSC
- Рисунок 2.6 – Статистические показатели анализируемых процессов
- Рисунок 2.7 – Деление процесса охлаждения на этапы
- Таблица 2.10 – Результаты моделирования для режима «Процесс 1»

- Таблица 2.11 – Результаты моделирования для режима «Процесс 2»
- Таблица 2.12 – Исходные данные для расчета энергозатрат
- Таблица 2.13 – Результаты расчета затрат энергии для автоклавов
- Таблица 2.14 – Сравнение энергозатрат автоклавов
- Таблица 2.15 – F-эффект, рассчитанный табличным методом
- Таблица 2.16 – F-эффект, рассчитанный с использованием метода численного интегрирования
- Рисунок 2.8 – Схема расположения логгеров температуры внутри стерилизационной камеры
- Рисунок 3.1 – Алгоритм проведения этапа предварительного подбора нового режима стерилизации
- Рисунок 3.2 – Итоговая таблица теплофизических исследований на этапе предварительного подбора
- Рисунок 3.3 – Традиционный режим стерилизации пищевых продуктов
- Рисунок 3.4 – Этапы процесса для «модернизированного» режима
- Рисунок 3.5 – Профиль переменного режима тепловой обработки [39]
- Рисунок 3.6 – Профиль многоступенчатого режима стерилизации
- Рисунок 3.7 – Табличная форма записи многоступенчатого режима
- Таблица 3.1 – Сравнение затрат для различных методик
- Рисунок 3.9 – Традиционный режим стерилизации продукта
- Рисунок 3.10 – Режим стерилизации, основанный на прогнозировании F-эффекта с использованием математической модели продукта
- Рисунок 3.11 – Структурно-функциональная схема управления процессом стерилизации пищевых продуктов
- Рисунок 3.12 – Двусторонние информационные связи
- Рисунок 3.13 – Окно настройки параметров соединения
- Рисунок 3.14 – Общепринятый вид структуры АСНИ
- Рисунок 3.15 – Альтернативный вид структуры АСНИ
- Рисунок 3.16 – Представление двусторонней связи в ЦД изделия и АСНИ
- Рисунок 3.17 – Диаграмма программного комплекса

- Рисунок 3.18 – Диаграмма взаимодействия программ комплекса
- Рисунок 3.19 – Диаграмма программы TPM
- Рисунок 3.20 – Диаграмма программы PRSC
- Рисунок 3.21 – Структурная схема программного комплекса TPM&PRSC
- Рисунок 3.22 – Структура «Таблицы 1»
- Рисунок 3.23 – Структура «Таблицы 2»
- Рисунок 3.24 – Структура «Таблицы 3»
- Рисунок 3.25 – Структура «Таблицы 4»
- Рисунок 3.26 – Структура «Таблицы 5»
- Рисунок 3.27 – Структура БД АСНИ
- Рисунок 4.1 – Вычисление изменения массы пара
- Рисунок 4.2 – Вычисление температуры пара
- Рисунок 4.3 – Схема расчета парциального давления и коэффициента
- Рисунок 4.4 – Схема расчета теплообмена пара с объектом
- Рисунок 4.5 – Изменение температуры объектов теплообмена
- Рисунок 4.6 – Пример моделирования работы автоклава
- Рисунок 4.7 – Структурная схема АС ПУ ВС АВК-30М
- Рисунок 4.8 – Информационная модель данных контроля и управления
- Рисунок 4.9 – Информационная модель данных архивирования и сигнализации
- Рисунок 4.10 – Проверка доступа к редактированию параметров задания
- Рисунок 4.11 – Расчет текущих параметров и времени этапа
- Рисунок 4.12 – Расчет управляющего воздействия и других параметров
- Рисунок 4.13 – Экран оператора программы управления
- Рисунок 4.14 – Схема САУСТ-1Е
- Рисунок 4.15 – Внешний вид лицевой панели щита ручного управления
- Рисунок 4.16 – Внешний вид модуля I-7018
- Рисунок 4.17 – Внешний вид модуля I-7050
- Рисунок 4.18 – Вид модулей параметров и реле
- Рисунок 4.19 – Вид соединительной коробки изнутри
- Рисунок 4.20 – Внешний вид термопреобразователя

Рисунок 4.21 – Внешний вид датчика давления

Рисунок 4.22 – Внешний вид СПК107

Рисунок 4.23 – Структурная схема передачи сигналов в новой системе управления

Рисунок 4.24 – Схема нечеткого вывода для параметров нагрева

Рисунок 4.25 – Функции принадлежности входных переменных

Рисунок 4.26 – Функции принадлежности выходной переменной

Рисунок 4.27 – Правила нечеткого вывода для параметров нагрева

Рисунок 4.28 – Схема нечеткого вывода для параметров охлаждения

Рисунок 4.29 – Функции принадлежности входных переменных

Рисунок 4.30 – Функции принадлежности выходной переменной

Рисунок 4.31 – Правила нечеткого вывода для параметров охлаждения

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А – Руководство пользователя

ПРОГРАММА УПРАВЛЕНИЯ ВОДНОЙ СТЕРИЛИЗАЦИЕЙ В АВТОКЛАВЕ АВК-30М

Руководство пользователя

Аннотация

Документ включает в себя общие сведения, назначение и условия применения программы для управления процессом стерилизации консервов в водной среде в автоклаве АВК-30М.

Документ также содержит описание действий администратора с пошаговым разъяснением принципов работы и действий в случае возникновения аварийных ситуаций.

1 Общие сведения

1.1 Назначение

Программа предназначена к применению профильными подразделениями в производственных цехах Заказчика для управления процессом стерилизации в водной среде в стерилизационной камере автоклава АВК-30М. Пользователями программы являются сотрудники профильных подразделений, работающие в производственных цехах Заказчика.

1.2 Требования к аппаратному обеспечению компьютера

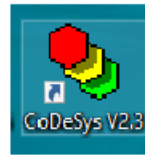
Рабочее место пользователя должно быть оборудовано персональным компьютером, который должен обладать следующими характеристиками:

- процессор Intel Pentium с тактовой частотой не менее 2 ГГц и не менее двумя вычислительными ядрами;
- оперативная память объемом не менее 2 Гбайт;
- сетевая карта со скоростью не менее 10 Мбит/с;
- жесткий диск объемом не менее 500 Гбайт;
- настроенный протокол ТСР/ІР для обмена данными с ПЛК;
- установленная операционная система не ниже Windows ХР.

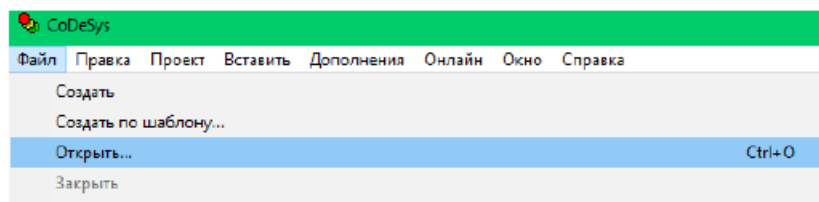
1.3 Запуск программы

Для запуска программы необходимо выполнить следующие действия:

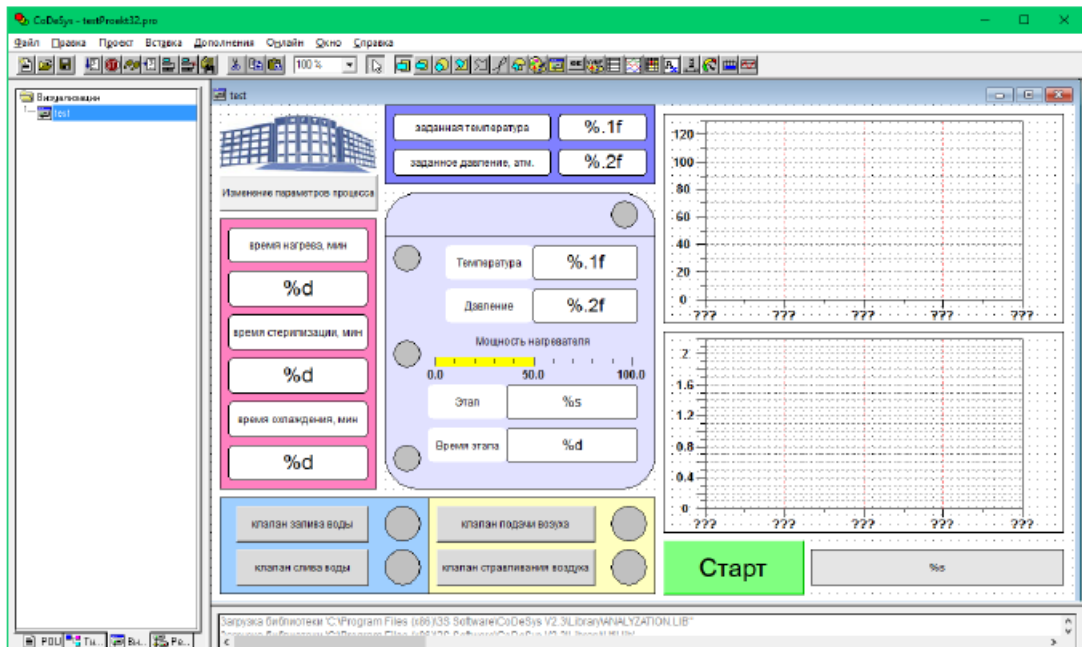
1) Найти на рабочем столе ярлык программы **Codesys v2.3**.



2) Щелкнуть по ярлыку 2 раза левой кнопкой мыши. На экране появится окно среды разработки Codesys. Далее необходимо последовательно выбрать «Файл–Открыть» или нажать комбинацию клавиш «Ctrl+O». После этого выбрать на **Рабочем Столе** файл с названием «Control_AVK30M» с расширением **pro**.

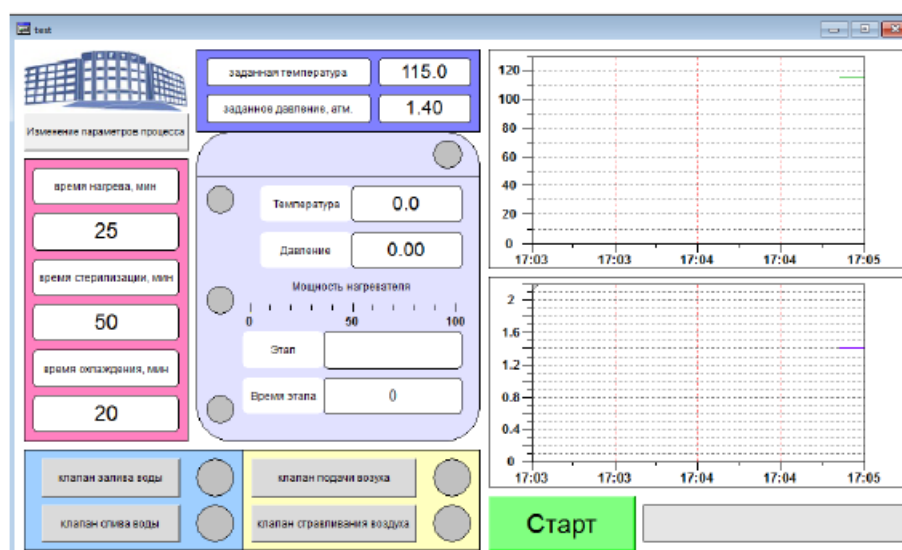


3) После открытия файла проекта перейдите на вкладку «Визуализации» и двойным щелчком левой клавиши манипулятора выберите форму визуализации с названием «test».

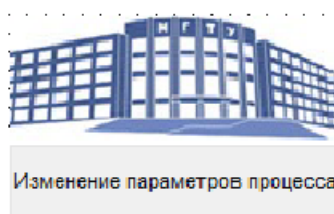


4) После заполнения автоклав водой и ее предварительного нагрева загрузите банок с продуктом в автоклав, закройте его и запустите выполнение программы последовательно нажав сочетание клавиш «Alt+F8» и «F5».

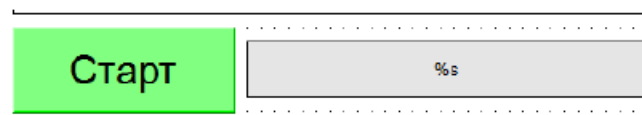
Онлайн		Окно	Справка
Подключение			Alt+F8
Отключение			Ctrl+F8
Загрузка			
Старт			F5
Стоп			Shift+F8
Сброс			
Сброс (холодный)			
Сброс (заводской)			



5) Если у вас есть права администратора, то отредактируйте необходимые параметры процесса (заданная температура и давление стерилизации, периоды этапов стерилизации). Более подробно действия администратора описаны в пункте 2 настоящего руководства. Если прав администратора нет, то переходите к следующему шагу.



6) Нажмите кнопку «Старт» для начала процесса стерилизации консервов.



7) По окончании процесса справа от кнопки «Старт» будет мигать текстовое сообщение «Процесс закончен. Выключите кнопку Старт». Выполните требование программы и остановите выполнение программы последовательно нажав сочетание клавиш «Shift+F8» и «Ctrl+F8».

Онлайн	Окно	Справка
Подключение		Alt+F8
Отключение		Ctrl+F8
Загрузка		
Старт		F5
Стоп		Shift+F8
Сброс		
Сброс (холодный)		
Сброс (заводской)		

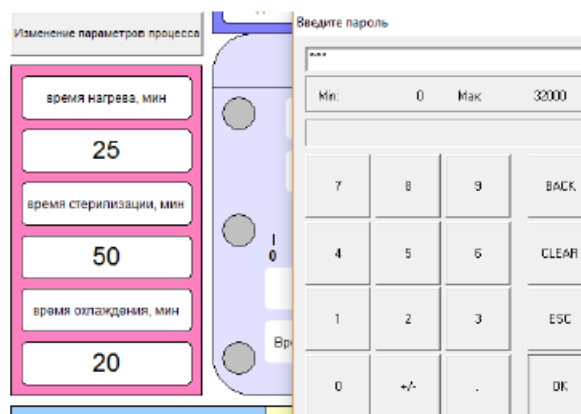
2 Функции Администратора

Администратору доступны следующие функции:

- Изменение заданной температуры и давления стерилизации.
- Изменение периодов этапов стерилизации консервов.

2.1 Изменение заданной температуры и давления стерилизации

Если у вас есть права администратора, то разрешите редактирование кнопкой «Изменение параметров процесса» и вводом соответствующего пароля.



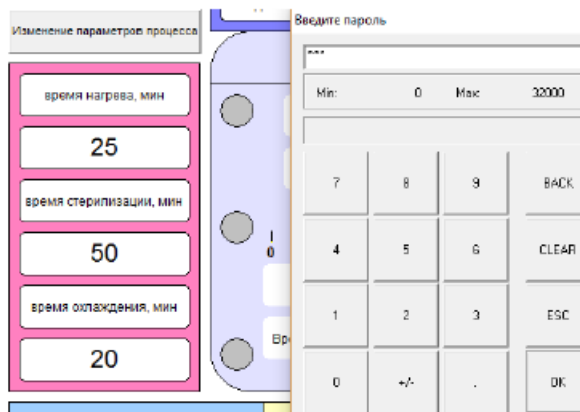
Далее двойным щелчком на значении заданной температуры или давления процесса стерилизации откройте цифровую панель редактирования параметра и

введите необходимое значение. Температура стерилизации ограничена в пределах от 101 до 140 °С, давление в стерилизационной камере автоклава от 0 до 2,0 атмосфер.

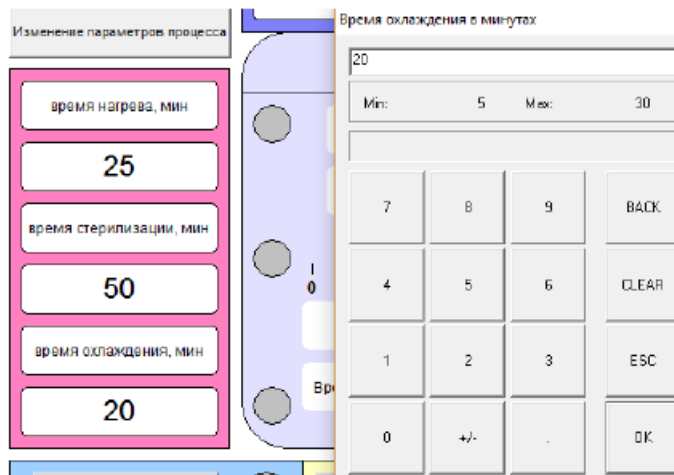
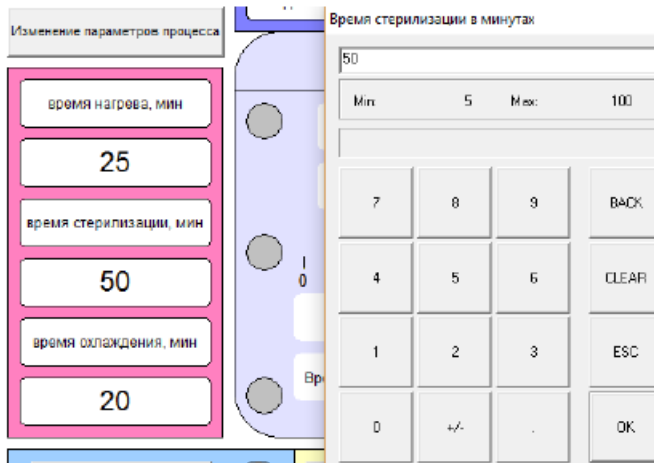
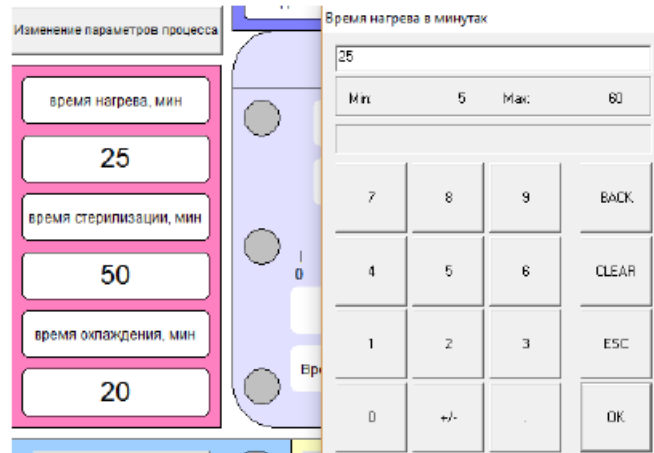


2.2 Изменение периодов этапов стерилизации консервов

Если у вас есть права администратора, то разрешите редактирование кнопкой «Изменение параметров процесса» и вводом соответствующего пароля.

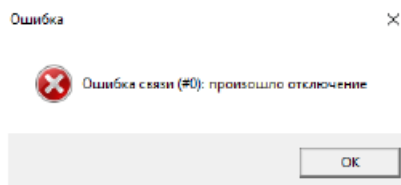


Далее двойным щелчком на значении времени нагрева или времени стерилизации или времени охлаждения откройте цифровую панель редактирования соответствующего параметра и введите необходимое значение. Время каждого этапа вводится в целых минутах и ограничено в пределах от 5 до 60, 100 или 30 минут соответственно.



3 Мониторинг работоспособности

Во время запуска программы производится проверка доступности соединения с ПЛК. Если связь с контроллером не установлена или потеряна, то среда Codesys выведет на экран соответствующую ошибку.



4 Чистка архивов

Архивные файлы приложения растут в зависимости от интенсивности использования приложения. Необходимо следить за количеством архивных файлов с расширением trd и регулярно проводить их чистку, оставляя только необходимые архивы.

5 Аварийные ситуации

При сбое в работе программного обеспечения для продолжения работы пользователя необходимо перезапустить приложение с помощью сочетания клавиш «Alt+F8» и «F5».

Онлайн	Окно	Справка
Подключение		Alt+F8
Отключение		Ctrl+F8
Загрузка		
Старт		F5
Стоп		Shift+F8
Сброс		
Сброс (молодный)		
Сброс (заводской)		

В случае возникновения аварийных параметров в процессе стерилизации (нет или низкий уровень воды в автоклаве, крышка автоклава открыта) программа остановит проведение процесса стерилизации до устранения причины аварии.

В случае обнаружения ошибок, которые невозможно исправить, следует обратиться в службу технической поддержки.

Приложение Б – Дополнительная информация о системе САУСТ-1Е

Таблица характеристик модуля I-7018

Реализация корпуса	
Внешний вид и материал	Пластик
Монтаж	На стену, На DIN-рейку
Порты ввода-вывода	
Количество разъемов RS-485	1
Протоколы связи	
Промышленные протоколы	DCON slave
Аналоговый ввод	
Каналов аналогового ввода	8
Разрядность АЦП	16 Bit
Диапазон входного сигнала по напряжению	+/-15 мВ, +/-50 мВ, +/-100 мВ, +/-500 мВ, +/-1 В, +/-2.5 В
Диапазон входного сигнала по току	0...20 мА, 4...20 мА, -20...+20 мА
Частота выборки АЦП	10 Hz
Каналов с общим проводом	2
Дифференциальных каналов	6
Подключаемая термопара	J: -210...+760 °С, К: -270...+1372 °С, Т: -270...+400 °С, Е: -270...+1000 °С, R: 0...1768 °С, S: 0...1768 °С, В: 0...1820 °С, N: -270...+1300 °С, С: 0...+2320 °С
Порты	
Тип коннектора	Винтовые клеммы
Дополнительные функции	
Сторожевой таймер	Аппаратный, Программный
Размеры	
Ширина	72 mm
Глубина	35 mm
Высота	123 mm
Требования к условиям использования	
Минимальная температура при работе	-25 °С
Максимальная температура при работе	75 °С

Таблица характеристик модуля I-7050

Реализация корпуса	
Внешний вид и материал	Пластик
Монтаж	На стену, На DIN-рейку
Порты ввода-вывода	
Количество разъемов RS-485	1
Протоколы связи	
Промышленные протоколы	DCON slave
Цифровой ввод	
Количество каналов DI	7
Тип DI	Сухой контакт
Приемник/Источник	Источник
Параметры счетчика	100 Гц, 16 бит
Цифровой вывод	
Количество каналов DO	8
Тип DO	Открытый коллектор
Приемник/источник	Приемник
Выходное напряжение	3,5–30 В
Максимальный ток на выходе	30 mA
Порты	
Тип коннектора	Винтовые клеммы
Дополнительные функции	
Сторожевой таймер	Аппаратный, Программный
Размеры	
Ширина	72 мм
Глубина	35 мм
Высота	123 мм
Требования к условиям использования	
Минимальная температура при работе	-25 °C
Максимальная температура при работе	75 °C

Технические характеристики термопреобразователя ТСМУ/1-0288

Характеристика	Значение
Условное обозначение НСХ преобразования (ГОСТ 6651)	100М
Выходной сигнал, мА	постоянный ток от 4 до 20
Напряжение питания, В	24
Материал защитной арматуры	сталь 12Х18Н10Т
Диапазон измеряемых температур, °С	от 0 до 150
Предел допускаемого значения основной погрешности, %	0,25
Потребляемая мощность Вт, не более	1,0

Технические характеристики тензопреобразователя КРТ-С-0,6-0,5

Характеристика	Значение
Верхний предел избыточного давления (максимальное давление перегрузки), МПа	0,6 (1,2)
Выходной сигнал постоянного тока, мА	От 4 до 20
Предел допускаемой основной погрешности, %	± 0,5
Напряжение питания, В	9,6 — 40
Сопротивление нагрузки, кОм	от 0 до 1,52
Температура рабочей среды, °С	От -45 до +120
Температура окружающей среды, °С	от -45 до +85
Потребляемая мощность, Вт, не более	1
Масса, кг, не более	0,2

Приложение В – Результаты интеллектуальной деятельности

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2789344

Способ управления процессом тепловой обработки консервов из гидробионтов

Патентообладатель: *Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Мурманский государственный технический университет" (ФГАОУ ВО "МГТУ") (RU)*

Авторы: *Жук Александр Алексеевич (RU), Кайчёнов Александр Вячеславович (RU), Столянов Александр Вячеславович (RU), Гроховский Владимир Александрович (RU), Куранова Людмила Казимировна (RU)*

Заявка № 2022102988

Приоритет изобретения 07 февраля 2022 г.

Дата государственной регистрации

в Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 01 февраля 2023 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 07 февраля 2042 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**RU2021613155**

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ**

<p>Номер регистрации (свидетельства): 2021613155 Дата регистрации: 03.03.2021 Номер и дата поступления заявки: 2021612175 16.02.2021 Дата публикации и номер бюллетеня: 03.03.2021 Бюл. № 3 Контактные реквизиты: (8152) 403430, plyasunovala@mstu.edu.ru</p>	<p>Автор(ы): Жук Александр Алексеевич (RU), Столянов Александр Вячеславович (RU), Кайченев Александр Вячеславович (RU) Правообладатель(и): Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГАОУ ВО «МГТУ») (RU)</p>
---	--

Название программы для ЭВМ:
Расчет летальности процесса тепловой обработки консервов

Реферат:

Программа предназначена для определения коэффициентов летальности, а также величин летального действия нагрева и фактического летального эффекта (F-эффекта) процесса тепловой обработки консервов. Программа позволяет варьировать параметры, от которых зависят коэффициенты летальности: характеристику Z термостойкости тест-культуры и температуру T_0 , принятую в качестве базисной. Кроме того, программа позволяет задать интервал и шаг изменения температур, для которых выполняется расчет, а также указать точность расчета (количество разрядов десятичной дроби). Для автоматического определения параметров расчета коэффициентов летальности, пользователю предлагается выбрать вид процесса: «пастеризация» или «стерилизация». Графический интерфейс программы включает шесть элементов ввода параметров и две таблицы для отображения данных, кнопки: «Расчитать L» - для расчета коэффициентов летальности; «Экспортировать» - для сохранения коэффициентов летальности в файл электронной таблицы (*.csv); «Загрузить» - для загрузки данных температурной кинетики продукта из файла; «Расчитать F» - для расчета фактического летального эффекта процесса; «Экспортировать» - для сохранения результатов расчета, включая величины летального действия нагрева, в файл электронной таблицы (*.csv); «График» - для открытия формы отображения графиков температурной кинетики процесса и F-эффекта. Предусмотрена кнопка «Сохранить» - для сохранения графиков в виде изображения (*.png). Программа может применяться в качестве прикладного инструмента в исследованиях - для разработки и научного обоснования режимов тепловой обработки продуктов, а также на производстве - для контроля указанного технологического процесса.

Язык программирования: Object Pascal
Объем программы для ЭВМ: 5,6 КБ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



RU2021613099

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

Номер регистрации (свидетельства): 2021613099 Дата регистрации: 02.03.2021 Номер и дата поступления заявки: 2021611973 16.02.2021 Дата публикации и номер бюллетеня: 02.03.2021 Бюл. № 3 Контактные реквизиты: (8152) 403430, plyasunovala@mstu.edu.ru	Автор(ы): Столянов Александр Вячеславович (RU), Жук Александр Алексеевич (RU) Правообладатель(и): Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГАОУ ВО «МГТУ») (RU)
--	---

Название программы для ЭВМ:
ThermoPhysics

Реферат:

Программа рассчитывает значения температурных профилей автоклавоварок (для пяти выбранных моделей продукта) и фактической летальности (F-эффекта) для заданного режима тепловой обработки. Тепловой режим обработки продукта может быть задан в виде промежуточных времени или загружен из структурированного файла с экспериментальными данными о профиле стерилизационной камеры автоклава. На основе рассчитанных значений программа автоматически создает текстовый документ (doc) об изменении температур продукта и греющей среды в процессе тепловой обработки, необходимой для утверждения предварительно подобранного режима. Предусмотрены функции «Добавить из файла» – для открытия файла с моделью продукта, «Выбрать» – для загрузки экспериментальных данных о профиле стерилизационной камеры автоклава из структурированного файла и «Создать файл» – для создания текстового документа об изменении температур продукта и греющей среды в процессе тепловой обработки. Предусмотрены текстовые и числовые поля ввода вспомогательных данных для создания текстового документа о теплофизическом исследовании полученного режима. Программа может применяться в качестве прикладного инструмента инженера-технолога при оптимизации существующих или разработке новых процессов термической обработки продуктов.

Язык программирования: Object Pascal

Объем программы для ЭВМ: 41 КБ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**RU2020665739**

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

<p>Номер регистрации (свидетельства): 2020665739 Дата регистрации: 30.11.2020 Номер и дата поступления заявки: 2020665107 17.11.2020 Дата публикации и номер бюллетеня: 30.11.2020 Бюл. № 12 Контактные реквизиты: Тел.: (8152)403430; e-mail: plyasunoval@mstu.edu.ru</p>	<p>Автор(ы): Столянов Александр Вячеславович (RU), Жук Александр Алексеевич (RU) Правообладатель(и): Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГАОУ ВО «МГТУ») (RU)</p>
--	--

Название программы для ЭВМ:
ProcessF

Реферат:

Программа рассчитывает значение фактической летальности (F-эффект) процесса на основе его температурной кинетики. Считывает данные о температуре процесса тепловой обработки из текстового файла и отображает в виде графиков. Сохраняет результаты в файл электронных таблиц (xls). В программе предусмотрены функции «Открыть файл» - для открытия текстового файла, «Подсчет эффекта» - для подсчета F-эффекта для заданной базисной температуры и «Сохранить в таблицу» - для сохранения полученных данных в файл. Предусмотрены текстовые поля для отображения рассчитанного значения F-эффекта. Программа может применяться в качестве прикладного инструмента инженера-технолога для контроля процессов термической обработки продуктов.

Язык программирования: Object Pascal

Объем программы для ЭВМ: 13,5 КБ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

RU 2017612613**ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ**

<p>Номер регистрации (свидетельства): 2017612613</p> <p>Дата регистрации: 01.03.2017</p> <p>Номер и дата поступления заявки: 2016661749 02.11.2016</p> <p>Дата публикации: 01.03.2017</p> <p>Контактные реквизиты: (8152)40 34 30, plyasunoval@mstu.edu.ru</p>	<p>Авторы: Столянов Александр Вячеславович (RU), Кайченев Александр Вячеславович (RU), Власов Александр Валентинович (RU), Маслов Алексей Алексеевич (RU), Жук Александр Алексеевич (RU), Ерещенко Виктор Валерьевич (RU)</p> <p>Правообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «МГТУ») (RU)</p>
--	--

Название программы для ЭВМ:
Modeller

Реферат:

Программа предназначена для подбора коэффициентов передаточной функции теплового процесса для консервной продукции. Подбор может производиться как вручную, так и автоматически, математическими методами оптимизации. Программа вычисляет значения фактического стерилизующего эффекта для реального процесса и его модели. Осуществляется построение графиков кинетики изменения температуры и фактического стерилизующего эффекта.

Тип реализующей ЭВМ: IBM PC - совмест. ПК

Язык программирования: ObjectPascal

Вид и версия операционной системы: Windows XP/Vista/7

Объем программы для ЭВМ: 28 Кб

Приложение Г – Акты о внедрении результатов исследований

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 гидробионтов».

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 гидробионтов. 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 гидробионтов на конечное значение фактического стерилизующего эффекта. С помощью разработанного программного комплекса получены численные математические модели продуктов из гидробионтов 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 гидробионтов.

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

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 «Таурус»
 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 гидробионтов».

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

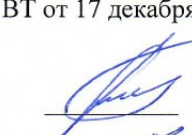

Разработан программный комплекс для автоматизированного подбора режимов и создания автоматизированной системы научных исследований процессов стерилизации продуктов из гидробионтов. Исследовано влияние этапов нагрева и охлаждения на конечное значение фактического стерилизующего эффекта готовой продукции. Сделаны выводы о влиянии интервалов измерения температуры при проведении процесса термической обработки продуктов из гидробионтов на конечное значение фактического стерилизующего эффекта. С помощью разработанного программного комплекса получены численные математические модели продуктов из гидробионтов 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 гидробионтов.

4. Где и когда внедрено: АО «Таурус» (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

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «МГТУ»)

СОГЛАСОВАНО:
Проректор по НР
К.Б. Аллояров

«26» июня 20__ г.



УТВЕРЖДАЮ:
Проректор по УР

Б.Ф. Петров
«26» июня 2018 г.

АКТ №15/18 АБУ

о внедрении результатов ГБНИР 1.27/18: «Исследование, разработка и совершенствование компьютерных информационно-управляющих систем» в учебный процесс
(вид деятельности*)

1. Наименование предложения для внедрения (учебно-методические, научно-методические разработки т.п.) учебно-методическая разработка программного обеспечения, обеспечивающего подбор параметров процессов тепловой обработки

2. Кем предложена разработка в рамках выполнения выпускной квалификационной работы Столяновым А. В., студентом 2 курса направления подготовки 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств, руководитель Кайченев А. В., к.т.н., доцент кафедры АиВТ
(Ф.И.О., должность, подразделение)

3. Краткая аннотация разработки: разработан программный комплекс для подбора параметров режима стерилизации консервов из гидробионтов в автоматическом режиме, предназначенный для изучения обработки экспериментальных данных и получения на основе них математической модели процесса (передаточной функции), получения практических навыков программной реализации метода оптимизации Брента и численного интегрирования методом Рунге-Кутты 4 порядка средствами языка Object Pascal
(характеристика результата, сделанный вывод)

4. Где и когда внедрено: в учебный процесс – дисциплина «Программирование и алгоритмизация», при изучении программирования численных методов для студентов 2 курса направления подготовки 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств
(тема занятия, курс)

5. Учебно-методическая (научно-методическая) эффективность внедрения повышение уровня профессиональной подготовки студентов

6. Замечания, предложения _____

Протокол заседания кафедры АиВТ от «15» июня 2018 г. № 8

Заведующий кафедрой

Директор Морского института



УТВЕРЖДАЮ:
 Исполнительный директор
 ЗАО «Стрелец»
 183038, г. Мурманск,
 ул. Шмидта, 43
 Ю.В. Паршев
 19 2015 г.

АКТ

о внедрении результатов хоздоговорной темы «Разработка режимов стерилизации консервов из печени, икры, молок «по-мурмански» в банках 3» в производство.

1. Наименование предложения для внедрения:

Утвержденный 07.07.2015 г. временный режим стерилизации консервов «Печень пикши по-мурмански» в банке 3.

2. Кем предложена разработка: ФГБОУ ВПО «МГТУ» в рамках хоздоговорной темы № 29-15 «Разработка режимов стерилизации консервов из печени, икры, молок «по-мурмански» в банках 3», руководитель д. т. н., зав. каф. ТПП МГТУ Гроховский В.А., исполнители: Куранова Л.К., зав. НИЛ каф. ТПП; Темиржанова К.С., инженер 1 кат. каф. ТПП; Ершов М.А., ст. научн. сотр. каф. ТПП, Кайченев А.В., ст. научн. сотр. каф. АиВТ, Столянов А.В., зав. лаб. каф. АиВТ.

2. Краткая аннотация разработки

Консервы «Печень трески по-мурмански» пользуются большим спросом у населения и обладают высокой биологической ценностью. Биологическая ценность печени пикши аналогична тресковой, однако консервы из печени пикши «по-мурмански» в настоящее время не выпускаются. С целью расширения ассортимента консервированной продукции из тресковых видов рыб специалистами ЗАО «Стрелец» разработана технология изготовления консервов «Печень пикши по-мурмански». Для утверждения нормативно-технических документов необходимо наличие утвержденного режима стерилизации на новый вид продукции.

Разработанный и утвержденный временный режим стерилизации консервов «Печень пикши по-мурмански» в банке 3 позволил предприятию получить ассортиментный знак на продукцию и выпускать этот ассортимент консервов в морских условиях на судах организации в автоклавах «Аскамат-230» (стерилизация и охлаждение водой с воздушным противодавлением) в течение срока действия режима.

4. Где и когда внедрено: на ЗАО «Стрелец» (юр. адрес: 183038, г. Мурманск, ул. Шмидта, 43) с 07.07.2015 г. с целью изготовления и реализации через розничную торговлю консервов «Печень пикши по-мурмански» в банке 3.

Протокол заседания кафедры ТПП от 24 ноября 2015 г. № 3.

Зав. кафедрой ТПП,
руководитель темы

В.А. Гроховский



УТВЕРЖДАЮ:
 Исполнительный директор
 ЗАО «Стрелец»
 183038, г. Мурманск,
 ул. Шмидта, 43
 Ю.В. Паршев
 12 2015 г.

АКТ

о внедрении результатов хоздоговорной темы «Разработка режимов стерилизации консервов из печени, икры, молоко «по-мурмански» в банках 3» в производство.

1. Наименование предложения для внедрения:

Утверждённый 07.07.2015 г. временный режим стерилизации консервов «Ассорти из икры и печени трески «по-мурмански» в банке 3.

2. Кем предложена разработка: ФГБОУ ВПО «МГТУ» в рамках хоздоговорной темы № 29-15 «Разработка режимов стерилизации консервов из печени, икры, молоко «по-мурмански» в банках 3», руководитель д. т. н., зав. каф. ТПП МГТУ Гроховский В.А., исполнители: Куранова Л.К., зав. НИЛ каф. ТПП; Темиржанова К.С., инженер 1 кат. каф. ТПП; Ершов М.А., ст. научн. сотр. каф. ТПП, Кайченев А.В., ст. научн. сотр. каф. АиВТ, Столянов А.В., зав. лаб. каф. АиВТ.

2. Краткая аннотация разработки

Печень и икра трески обладают высокой пищевой и биологической ценностью. С целью расширения ассортимента консервированной продукции из тресковых рыб специалистами ЗАО «Стрелец» разработана технология изготовления консервов «Ассорти из икры и печени трески «по-мурмански»». Для утверждения нормативно-технических документов необходимо наличие утверждённого режима стерилизации на новый вид продукции.

Разработанный и утверждённый временный режим стерилизации консервов «Ассорти из икры и печени трески «по-мурмански» в банке 3» позволил предприятию получить ассортиментный знак на продукцию и выпускать этот ассортимент консервов в морских условиях на судах организации в автоклавах «АскамаТ-230» (стерилизация и охлаждение водой с воздушным противодавлением) в течение срока действия режима.

4. Где и когда внедрено: на ЗАО «Стрелец» (юр. адрес: 183038, г. Мурманск, ул. Шмидта, 43) с 07.07.2015 г. с целью изготовления и реализации через розничную торговлю консервов «Ассорти из икры и треск «по-мурмански» в банке 3.

Протокол заседания кафедры ТПП от 24 ноября 2015 г. № 3.

Зав. кафедрой ТПП,
руководитель темы

В.А. Гроховский



УТВЕРЖДАЮ:
 Исполнительный директор
 ЗАО «Стрелец»
 183038, г. Мурманск,
 ул. Шмидта, 43
 Ю.В. Паршев
 12 2015 г.

АКТ

о внедрении результатов хозяйственной темы «Разработка режимов стерилизации консервов из печени, икры, молоко «по-мурмански» в банках 3» в производство.

1. Наименование предложения для внедрения:

Утвержденный 07.07.2015 г. временный режим стерилизации консервов «Ассорти из икры и молоко пикши «по-мурмански» в банке 3.

2. Кем предложена разработка: ФГБОУ ВПО «МГТУ» в рамках хозяйственной темы № 29-15 «Разработка режимов стерилизации консервов из печени, икры, молоко «по-мурмански» в банках 3», руководитель д. т. н., зав. каф. ТПП МГТУ Гроховский В.А., исполнители: Куранова Л.К., зав. НИЛ каф. ТПП; Темиржанова К.С., инженер 1 кат. каф. ТПП; Ершов М.А., ст. научн. сотр. каф. ТПП, Кайченев А.В., ст. научн. сотр. каф. АйВТ, Столянов А.В., зав. лаб. каф. АйВТ.

2. Краткая аннотация разработки

Икра и молоки пикши обладают высокой пищевой и биологической ценностью. Однако консервы из гонад пикши в настоящее время не выпускаются. С целью расширения ассортимента консервированной продукции из тресковых рыб и вовлечению в переработку отходов от разделки рыбы специалистами ЗАО «Стрелец» разработана технология изготовления консервов «Ассорти из икры и молоко пикши «по-мурмански». Для утверждения нормативно-технических документов на новый вид продукции необходимо наличие утвержденного режима стерилизации консервов.

Разработанный и утвержденный временный режим стерилизации консервов «Ассорти из икры и молоко пикши «по-мурмански» в банке 3 позволил предприятию получить ассортиментный знак на продукцию и выпускать этот ассортимент консервов в морских условиях на судах организации в автоклавах «Аскамат-230» (стерилизация и охлаждение водой с воздушным противодавлением) в течение срока действия режима.

4. Где и когда внедрено: на ЗАО «Стрелец» (юр. адрес: 183038, г. Мурманск, ул. Шмидта, 43) с 07.07.2015 г. с целью изготовления и реализации через розничную торговлю консервов «Ассорти из икры и молоко пикши «по-мурмански» в банке 3.

Протокол заседания кафедры ТПП от 24 ноября 2015 г. № 3.

Зав. кафедрой ТПП,
руководитель темы

В.А. Гроховский



УТВЕРЖДАЮ:

Исполнительный директор

ЗАО «Стрелец»

183038, г. Мурманск,

ул. Шмидта, 43

Ю.В. Паршев

2015 г.

АКТ

о внедрении результатов хозяйственной темы «Разработка режимов стерилизации консервов из печени, икры, молок «по-мурмански» в банках 3» в производство.

1. Наименование предложения для внедрения:

Утвержденный 07.07.2015 г. временный режим стерилизации консервов «Ассорти из икры и молок трески «по-мурмански» в банке 3.

2. Кем предложена разработка: ФГБОУ ВПО «МГТУ» в рамках хозяйственной темы № 29-15 «Разработка режимов стерилизации консервов из печени, икры, молок «по-мурмански» в банках 3», руководитель д. т. н., зав. каф. ТПП МГТУ Гроховский В.А., исполнители: Куранова Л.К., зав. НИЛ каф. ТПП; Темиржанова К.С., инженер 1 кат. каф. ТПП; Ершов М.А., ст. научн. сотр. каф. ТПП, Кайченев А.В., ст. научн. сотр. каф. АйВТ, Столянов А.В., зав. лаб. каф. АйВТ.

2. Краткая аннотация разработки

Икра и молоки трески обладают высокой пищевой и биологической ценностью. С целью расширения ассортимента консервированной продукции из тресковых рыб и вовлечению в переработку отходов от разделки рыбы специалистами ЗАО «Стрелец» разработана технология изготовления консервов «Ассорти из икры и молок трески «по-мурмански». Для утверждения нормативно-технических документов на новый вид продукции необходимо наличие утвержденного режима стерилизации консервов.

Разработанный и утвержденный временный режим стерилизации консервов «Ассорти из икры и молок трески «по-мурмански» в банке 3 позволил предприятию получить ассортиментный знак на продукцию и выпускать этот ассортимент консервов в морских условиях на судах организации в автоклавах «Аскамат-230» (стерилизация и охлаждение водой с воздушным противодавлением) в течение срока действия режима.

4. Где и когда внедрено: на ЗАО «Стрелец» (юр. адрес: 183038, г. Мурманск, ул. Шмидта, 43) с 07.07.2015 г. с целью изготовления и реализации через розничную торговлю консервов «Ассорти из икры и молок трески «по-мурмански» в банке 3.

Протокол заседания кафедры ТПП от 24 ноября 2015 г. № 3.

Зав. кафедрой ТПП,
руководитель темы

В.А. Гроховский



УТВЕРЖДАЮ:
 Исполнительный директор
 ЗАО «Стрелец»
 183038, г. Мурманск,
 ул. Шмидта, 43
 Ю.В. Паршев
 «12» 2015 г.

АКТ

о внедрении результатов хозяйственной темы «Разработка режимов стерилизации консервов из печени, икры, молоко «по-мурмански» в банках 3» в производство.

1. Наименование предложения для внедрения:

Утвержденный 07.07.2015 г. временный режим стерилизации консервов «Ассорти из икры и печени пикши «по-мурмански» в банке 3.

2. Кем предложена разработка: ФГБОУ ВПО «МГТУ» в рамках хозяйственной темы № 29-15 «Разработка режимов стерилизации консервов из печени, икры, молоко «по-мурмански» в банках 3», руководитель д. т. н., зав. каф. ТПП МГТУ Гроховский В.А., исполнители: Куранова Л.К., зав. НИЛ каф. ТПП; Темиржанова К.С., инженер 1 кат. каф. ТПП; Ершов М.А., ст. научн. сотр. каф. ТПП, Кайченев А.В., ст. научн. сотр. каф. АиВТ, Столянов А.В., зав. лаб. каф. АиВТ.

2. Краткая аннотация разработки

Печень и икра пикши обладают высокой пищевой и биологической ценностью, однако консервы из этого сырья в настоящее время не выпускаются. С целью расширения ассортимента консервированной продукции из тресковых рыб и вовлечению в переработку печени и гонад пикши специалистами ЗАО «Стрелец» разработана технология изготовления консервов «Ассорти из икры и печени пикши «по-мурмански». Для утверждения нормативно-технических документов необходимо наличие утвержденного режима стерилизации на новый вид продукции.

Разработанный и утвержденный временный режим стерилизации консервов «Ассорти из икры и печени пикши «по-мурмански» в банке 3 позволил предприятию получить ассортиментный знак на продукцию и выпускать этот ассортимент консервов в морских условиях на судах организации в автоклавах «Аскамат-230» (стерилизация и охлаждение водой с воздушным противодавлением) в течение срока действия режима.

4. Где и когда внедрено: на ЗАО «Стрелец» (юр. адрес: 183038, г. Мурманск, ул. Шмидта, 43) с 07.07.2015 г. с целью изготовления и реализации через розничную торговлю консервов «Ассорти из икры и печени пикши «по-мурмански» в банке 3.

Протокол заседания кафедры ТПП от 24 ноября 2015 г. № 3.

Зав. кафедрой ТПП,
руководитель темы

В.А. Гроховский