

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, доцента

Никитиной Марины Александровны

на диссертационную работу Кайченова Александра Вячеславовича «Комплексная модернизация систем управления процессами тепловой обработки водных биоресурсов Арктики с использованием интеллектуальных технологий», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности: 2.3.3 - Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки)

На отзыв представлены диссертация и автореферат

Актуальность темы выполненной работы

Наиболее жесткими режимами стерилизации характеризуются рыбные консервы «в масле» или «с добавлением масла». Известным способом снижения термоустойчивости споровых микроорганизмов и величины требуемого стерилизующего эффекта является понижение рН среды продукта, что малоприемлемо для этой группы консервов. В связи с этим актуален поиск технических приемов, позволяющих снизить термоустойчивость микроорганизмов и жесткость режимов стерилизации, но при этом обеспечить промышленную стерильность продукта. Снижение излишней термической нагрузки на продукты при стерилизации будет способствовать повышению их качества.

Актуальность темы работы обусловлена необходимостью совершенствования и поиска новых (усовершенствованных) методов с применением интеллектуальных технологий, машинного обучения для систем автоматического управления технологическими процессами в пищевой промышленности, в частности рыбной. Тема работы полностью соответствует «Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации», одним из вызовов которой является потребность в обеспечении продовольственной безопасности и продовольственной независимости России, конкурентоспособности отечественной продукции на мировых рынках продовольствия, снижение технологических рисков в агропромышленном комплексе. Особое значение при этом уделяется созданию технологий, являющихся основой инновационного развития внутреннего рынка продуктов.

В связи с этим исследования Кайченова А.В., направленные на обоснование и разработку научных основ проведения перепроектирования, усовершенствования систем управления процессами тепловой обработки водных биологических ресурсов Арктики с применением методов машинного обучения и искусственного интеллекта, являются своевременными и необходимыми.

Основное содержание работы

Представленная к защите диссертационная работа имеет традиционную структуру и состоит из введения, аналитического обзора литературы, описания схемы, объектов, методов и методологии исследования, трех экспериментальных глав, описания основных результатов и выводов, списка литературы, включающего 247 наименований, в том числе 61 иностранных источника. Приложения к диссертации содержат материалы, подтверждающие научную новизну и практическую значимость результатов исследования.

Основное содержание работы составляет 306 страниц печатного текста. Диссертация проиллюстрирована 151 рисунком, содержит 39 таблиц.

Во введении обоснована актуальность работы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В первой главе диссертационной работы проведен обзор научно-технической отечественной и зарубежной литературы, проанализированы публикации, посвященные исследованиям в области совершенствования систем автоматического управления технологических процессов стерилизации, пастеризации и обезвоживания рыбных консервов. Представлен анализ дорожной карты рынка НТИ FoodNet, Стратегии развития рыбной промышленности России, в частности водных биологических ресурсов Арктики. Изложены цель и задачи исследования.

Во второй главе представлена программно-целевая модель исследований, описаны объекты и методы исследования, условия организации и проведения научных экспериментов. На основе анализа, обобщения и систематизации научной информации диссертантом предложены способы управления технологическими процессами тепловой обработки рыбных консервов с использованием нейросетевых технологий прогнозирования качества проведения процесса, что предопределяет качество готовой пищевой продукции.

В третьей главе представлены результаты исследований тепловой обработки пищевых продуктов в автоклавах АВК-30М и ASCAMAT-230. Описаны результаты исследований: 1) цифровых комплексов регистрации температуры, применяемых при научном обосновании режимов тепловой обработки продуктов питания в автоклавах; 2) температурного поля автоклавов АВК-30М и ASCAMAT-230 и даны рекомендации их применения при разработке режимов тепловой обработки; 3) достижения стерилизующего эффекта (F-показатель) при традиционном и модернизированном способе управления процессом стерилизации консервов

«Печень трески натуральная» в банке Impress. Показано применение программы «Проектирование режима стерилизации консервов» (PRSC) для поиска высокоэффективных по потребляемой энергии режимов стерилизации консервов. Программа позволяет сократить количество пробных варок при подборе режима стерилизации путем замены реальных процессов на вычислительные эксперименты.

В четвертой главе приведены результаты практической реализации исследований тепловой обработки водных биологических ресурсов Арктики в автоклавах АВК-30М и ASCAMAT-230. Приведено подробное описание разработанного комплекса «Модернизация и инновации в стерилизации», включающего в себя четыре модуля (МИСт.Автоматика; МИСт.Оптимум; МИСт.Экономайзер; МИСт.Проектирование_режима). Модуль МИСт.Автоматика осуществляет мониторинг, диспетчеризацию и управление основными контурами автоклава. Модуль МИСт.Оптимум минимизирует затраты энергии на выработку партии консервов за счет оптимизации коэффициентов регуляторов системы управления модуля МИСт.Автоматика. Кроме того разработан модуль сопряжения программных средств МИСт.Оптимум с исследовательским комплексом Ellab, позволяющий преобразовывать архивные данные экспериментов структурированный численный вид и использовать их для исследования технологического процесса стерилизации. Модуль МИСт.Экономайзер обеспечивает использование по замкнутому циклу отработанного тепла. Модуль МИСт.Проектирование_режима позволяет отработать режимы стерилизации для новых видов рыбных консервов, а также скорректировать режимы разработанных ранее консервов. Представлен процесс компьютерного моделирования и оптимизации процесса термической обработки консервов на примере режима стерилизации рыбных консервов «Скумбрия атлантическая натуральная с добавлением масла» и «Печень трески по-мурмански» в среде «Thermal processing modeler». Полученные передаточные функции для модели продукта и численное моделирование тепловых процессов при стерилизации и достижения стерилизующего эффекта (F-показатель) позволило сократить длительность процесса на 13 минут, по сравнению с традиционным процессом стерилизации в 85 минут.

Предложен новый термин «цифровая сертификация» и предпринята попытка описания методики «цифровой сертификации» режимов стерилизации консервной продукции с применением «цифровых двойников».

Представлена программа «Расчет летальности процесса тепловой обработки консервов», разработанная в среде Lazarus IDE и предназначенная для определения коэффициентов летальности и величин летального действия нагрева, и фактического летального эффекта процесса тепловой обработки консервов. Обосновано применение модели интегрирующего звена с инерционностью для описания динамики температуры среды автоклава на этапе охлаждения.

Предложенный математический аппарат рассмотрен при подборе температурных режимов стерилизации нового вида рыбных консервов «*Форель в оливковом масле с добавлением маринованного ананаса*» в жестяных банках № 2 (масса нетто продукта 170 г.). Полученные в результате создания математических моделей расчетные схемы использовались при создании программно-аппаратного комплекса тренажера процесса стерилизации «*Модель автоклава*».

В пятой главе приведены результаты практической реализации исследований тепловой обработки водных биологических ресурсов Арктики в коптильно-сушильных установках. Модернизированы система автоматического управления универсальной коптильно-сушильной установкой и малогабаритная установка для поиска оптимальных технологических режимов релаксации сырья. Приведены этапы моделирования систем автоматического управления процессом копчения и обезвоживания пищевых рыбных продуктов в среде MatLab. Представлена структурная схема управления на основе ПИД-регуляторов. Произведена оценка эффективности работы ПИД-регулятора при изменении коэффициентов модели. Так при изменении коэффициентов передаточных функций $W(p)$ темп. нагр., $W(p)$ ДГ нагр., $W(p)$ темп. охлажд., $W(p)$ влаж. рост., $W(p)$ влаж. спад в пределах 30% изменяет эффективность настроек ПИД-регулятора по интегральной оценке, также до 30 % изменяется качество управления процессом. В качестве интегральной оценки взят интеграл суммы квадрата от рассогласования и квадрата от управления.

Предложена иерархическая четырехуровневая структура автоматизированной системы управления процессом копчения пищевых продуктов. Реализован алгоритм нечеткого логического вывода коэффициентов модели в зависимости от режимов работы коптильно-сушильной установки на основе оценки текущего управляющего воздействия на исполнительные механизмы. На основании нечеткого логического вывода происходит коррекция параметров модели в контурах регулирования температуры и влажности в процессе копчения.

Предложены обобщенные методики: 1) построения энергоэффективных режимов релаксации в ходе процесса обезвоживания рыбного сырья; 2) оптимизации режимов релаксации; 3) «цифровой сертификации» энергоэффективных режимов обезвоживания сырья с применением «цифровых двойников».

Шестая глава посвящена исследованию систем управления процессами тепловой обработки водных биологических ресурсов Арктики с использованием интеллектуальных технологий. Для органолептической оценки качества консервов разработана экспертная подсистема с использованием аппарата нечеткой логики. База знаний экспертной подсистемы объединила обобщенный опыт работников учебно-экспериментального цеха МГТУ. Представлена нечеткая экспертная система для полноценной оценки качества рыбной продукции с учетом входного контроля и измерений. Предложена система автоматического управления с нейросетевым

прогнозирующим регулятором для процесса копчения пищевых продуктов. Разработана нейронная сеть для управления контуром температуры процесса копчения с применением формулы Байеса. Нейросетевая модель позволяет спрогнозировать динамику объекта на заданном временном интервале и определить соответствующий управляющий сигнал.

Показана система с применением ПИД-регулятора с нечеткой коррекцией коэффициентов контура температуры для управления малогабаритной сушильной установки, которая продемонстрировала свою эффективность в управлении.

Проведенный анализ материалов диссертации, автореферата, публикаций автора позволяет сделать вывод, что их содержание в целом соответствует цели и поставленным задачам. Автореферат, изложенный на 32 страницах, а также приведенные выводы в достаточной степени отображают содержание диссертационной работы.

Диссертация и автореферат по содержанию, структуре и объему соответствуют требованиям Положения о присуждении ученых степеней ВАК РФ.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Достоверность и обоснованность полученных в диссертации результатов подтверждается выбором традиционных и новых (усовершенствованных) для данной области методов исследования, использованием современных программных сред и языков программирования, совокупность которых позволяет минимизировать риски получения недостоверных данных. Анализ представленных в работе таблиц, рисунков и интерфейсов разработанного программного обеспечения подтверждают высокую достоверность результатов исследования и сформулированных на их основании рекомендаций и выводов.

Основные положения работы в достаточной степени апробированы, обсуждены в научном сообществе, разработанные методы, модели, алгоритмы и программы прошли апробацию и внедрены в производство АО «Стрелец», ООО «Интро».

Результаты работы подтверждаются апробацией в печати 63 печатных работ, из них 1 учебное пособие, 1 монография, 5 публикаций в изданиях, индексируемых международными базами данных WOS и Scopus, 21 публикация в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 24 свидетельств о регистрации программы для ЭВМ, 5 патентов РФ.

Научная новизна и практическая значимость результатов исследований

Новизна работы Кайченова А.В. определяется несколькими аспектами.

Прежде всего, соискателем обоснованы и разработаны способы управления тепловой обработкой пищевых продуктов, основанные на прогнозировании эффекта тепловой обработки. Впервые изложены методологические основы разработки режимов тепловой обработки (на примере режимов стерилизации) рыбных консервов с применением технологии «цифровых двойников».

К новым результатам можно отнести и данные, полученные при модернизации системы автоматического управления универсальной коптильно-сушильной установкой и малогабаритной установки для поиска оптимальных технологических режимов релаксации сырья.

Предложены методологические основы построения энергоэффективных оптимальных режимов тепловой обработки рыбного сырья. Разработана экспертная подсистема оценки качества консервов с использованием аппарата нечеткой логики. Проведено моделирование управления процессами тепловой обработки с прогнозирующими моделями с применением нейросетевых прогнозирующих регуляторов и ПИД-регулятора с нечеткой коррекцией коэффициентов.

Практическая значимость диссертационной работы Кайченова А.В. определяется, в первую очередь, совокупностью результатов, связанных с разработкой программного обеспечения: программы для ЭВМ: 1) F_CHANGE для универсальной коптильно-сушильной установки (Свидетельство Роспатент № 2012611079 от 26.01.2012); 2) FILTER_FOR_TEMP для универсальной коптильно-сушильной установки (Свидетельство Роспатент № 2012611076 от 26.01.2012); 3) MISt.Reader_Owen (МИСт. Преобразование отчетов ОВЕН) (Свидетельство Роспатент № 2008614098 от 27.08.2008); 4) MiSt. Подпрограмма «Блокировка» для АВК-30М (Свидетельство Роспатент № 2011619192 от 29.11.2011); 5) Модуль расчета вспомогательных параметров в модели автоклава на шаге квантования (Свидетельство Роспатент № 2016611784 от 10.02.2016); 6) Modeller (Свидетельство Роспатент № 2017612613 от 01.03.2017); 7) Оптимизация режимов релаксации в ходе процессов обезвоживания рыбного сырья. Программа поиска оптимума (Свидетельство Роспатент № 2015616010 от 29.05.2015); 8) Оптимизация режимов релаксации в ходе процессов обезвоживания рыбного сырья. Программа построения графиков (Свидетельство Роспатент № 2015616035 от 29.05.2015); 9) Оптимизация режимов релаксации в ходе процессов обезвоживания рыбного сырья. Программа подсчета экономии электроэнергии (Свидетельство Роспатент № 2015616036 от 29.05.2015); 10) Модуль расчета параметров воды в модели автоклава на шаге квантования (Свидетельство Роспатент № 2015663200 от 14.12.2015); 11) Модель автоклава для тренажера процесса стерилизации (Свидетельство Роспатент № 2015663349 от 16.12.2015); 12) Модуль расчета параметров воздушной среды в модели автоклава на шаге квантования (Свидетельство Роспатент № 2015663374 от 16.12.2015); 13) Модуль макросов для модели автоклава (Свидетельство Роспатент

№ 2015663377 от 16.12.2015); 14) IP 320 для универсальной коптильно-сушильной установки (Свидетельство Роспатент № 2012611077 от 26.01.2012); 15) PID_TEMP для универсальной коптильно-сушильной установки (Свидетельство Роспатент № 2012611139 от 27.01.2012); 16) PLC_PRG для универсальной коптильно-сушильной установки (Свидетельство Роспатент № 2012615578 от 20.06.2012); 17) Вычисление адресов регистров CoDeSys для панели оператора «ОВЕН» СП270 по структуре данных (Свидетельство Роспатент № 2012615411 от 15.06.2012); 18) Моделирование временной зависимости температуры в дымогенераторе в процессе его работы (Свидетельство Роспатент № 2012615580 от 20.06.2012); 19) Моделирование звена задержки (Свидетельство Роспатент № 2012615579 от 20.06.2012); 20) Модуль расчета потерь массы сырья (Свидетельство Роспатент № 2014617595 от 28.07.2014); 21) Модуль подсчета электроэнергии затраченной на технологический процесс (Свидетельство Роспатент № 2014617422 от 21.07.2014); 22) Модуль задания режимов релаксации (Свидетельство Роспатент № 2014660787 от 15.10.2014); 23) Программа управления секциями установки для поиска оптимальных технологических режимов (Свидетельство Роспатент № 2014617478 от 23.07.2014); 24) Расчет шага методом Рунге-Кутта 4-го порядка для инерционных звеньев 1-го и 2-го порядков (Свидетельство Роспатент № 2012615581 от 26.01.2012).

Личный вклад автора в разработку научной проблемы

Автором самостоятельно решена научная проблема, обоснована методика и схема выполнения исследования, разработаны модели, алгоритмы и программное обеспечение, полученные результаты обработаны и проанализированы, сформулированы выводы.

К диссертационной работе имеются замечания:

1. При анализе литературных источников в области технологии и автоматизации процесса тепловой обработки рыбных консервов (глава 1) большое внимание уделяется публикациям ученых из МГТУ, в то время как публикации отечественных (ВНИРО, АтлантНИРО, ТИНРО и др.) и зарубежных ученых вообще не рассмотрены.

2. На стр. 9 диссертации и стр. 4 автореферата в подразделе «Степень разработанности темы» перечислены фамилии ученых, внесших большой вклад, в частности, в разработанность методов системного анализа и моделирования, и перечислены фамилии Кафаров В.В., Гордеев Л.С., Мешалкин В.П., Дорохов И.Н., Пащенко Ф.Ф., Протопопов И.И. Однако, в списке литературы из 247 наименований нет ссылок на этих ученых.

3. В диссертации (стр. 14) и автореферате (стр. 5, 7) автор сообщает, что опубликовано 152 научные работы. В конце автореферата (стр. 28-32) приведен список из 63 научных публикаций. Поясните расхождение в приведенных цифрах.

4. В тексте диссертации в Приложении не приведена рабочая программа дисциплины по направлению подготовки «Автоматизация технологических процессов и производств» ФГАОУ ВО МГТУ, в которую внедрены результаты исследований соискателя.

5. На стр. 55 диссертации приведен рис. 2.2. «Взаимосвязи ТО для всех ТМ производства консервов из печени трески». Однако на рис. 2.2. в тексте диссертации нет ссылки, и нет его описания. Поясните, зачем представлен рис. 2.2?

6. В главе 2 разделе 2.7 диссертации (стр. 85) автор предлагает использовать С-эффект и Н-эффект для определения качества готового продукта при обезвоживании. Чем обусловлено применение совокупности двух показателей? Проводилось ли сравнение между двумя этими показателями, и какими статистическими методами осуществлялась обработка данных?

7. В главе 3 диссертации (стр. 88) для регистрации температуры в наименее прогреваемой точке стерилизационной камеры автоклава используются два вида логгеров: Thermochron iButton серии DS1922T (США) и Ellab TrackSense PRO (Дания). Чем обоснован выбор данных логгеров? Являются они поверенными измерительными приборами и могут ли применяться в научных исследованиях? Есть ли аналоги отечественных логгеров?

8. Требуют пояснения фразы:

- на стр. 137 диссертации *«Если параметры режима стерилизации менять по некоторому алгоритму оптимизации, например, по координатного спуска...»*. Из текста диссертации не понятно, какой алгоритм использует автор? И почему?

- на стр. 149-150 диссертации *«В целом, применение ВТРО оправдано на реальном заводе, если известны математическая модель продукта и динамика температуры среды в стерилизационной камере автоклава для всех этапов ТРТО»*

9. В главе 6 (с. 204, с. 206) соискатель использует нейронную сеть. Необходимо пояснить, какой вид нейронной сети выбран и почему? Сколько скрытых слоев? Какая функция активации используется? Какой алгоритм обучения нейронной сети применялся? И что подается на вход нейронной сети? Проводилась ли проверка разработанных нейросетей в условиях реального производства?

10. Из текста диссертации неясно, чем обусловлен выбор Байесовского машинного обучения (с. 204, с. 206). Насколько используемая модель уверена в своих прогнозах? Как оценивалось качество модели?

11. Для объективной оценки и анализа результатов сенсорных (органолептических) показателей качества рыбных консервов в нечеткой экспертной подсистеме, на мой взгляд, необходимо ввести поправочные

коэффициенты влияния эксперта и коэффициенты значимости параметров «Вкус», «Запах» и т.д.

12. В диссертации до конца не раскрыт предлагаемый термин «цифровая сертификация». Методологическая основа «цифровой сертификации» режимов стерилизации рыбных консервов, представленная в диссертации, больше напоминает усеченную инструкцию, и занимает чуть меньше одной страницы машинописного текста (стр. 158). Проводилась ли «цифровая сертификация» в условиях реального производства?

13. Согласно ГОСТ Р 57700.37–2021 «цифровой двойник» разрабатывается и применяется на всех стадиях жизненного цикла изделия, изменяясь на каждой стадии. Правомерно ли использовать данный термин в диссертации, а не термин «компьютерная модель» процесса режимов стерилизации консервной продукции?

14. Полученная модель оптимальных параметров для стерилизации консервов «Печень трески по-мурмански» может быть аппроксимирована на другие виды консервов? И как будет происходить адаптация разработанных программных комплексов, на предприятиях рыбной промышленности с учетом специфики каждого производства?

15. По тексту диссертации встречаются орфографические опiski и ошибки, а также присутствуют некорректные с точки зрения построения фраз формулировки:

- на стр. 15 написано: «*В основе развития технологий FoodNet лежат сильные математические школы и успешные IT-компании являются [183]*»;
- на стр. 29 написано: «*Многие ученые в своих исследованиях*»;
- на стр. 35 написано: «*... затруднен ввиду большого количества факторов, влияющих на процесс*»;
- на стр. 35 написано: «*Более полное рассмотрение методов по оптимизации процессов тепловой обработки, представлено в книге Ф. Эрдогду "Optimization in Food Engineering" (2008)*»;
- на стр. 145 написано: «*Процесс получения коэффициентов модели описан в статье [205]*».

Указанные недостатки, в целом, не снижают научной ценности и практической значимости диссертационной работы.

Выводы, сформулированные автором, аргументированы, достоверны, обладают несомненной научной новизной; основные результаты диссертационной работы опубликованы в рецензируемых отечественных научных изданиях.

Заключение по диссертации

На основании экспертизы диссертации, автореферата и публикаций автора считаю, что диссертационная работа Кайченова Александра Вячеславовича «Комплексная модернизация систем управления процессами тепловой обработки

водных биоресурсов Арктики с использованием интеллектуальных технологий» является законченным научным трудом, имеющим важное практическое значение, вносящим вклад в развитие научной специальности 2.3.3 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами».

Представленная на оппонирование диссертационная работа по актуальности, объему проведенных исследований, научно-методическому уровню и полученным результатам соответствует паспорту научной специальности 2.3.3 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами, требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г. (редакция 11.09.2021 г.), предъявленным к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.3 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами».

Официальный оппонент:

Доктор технических наук

(05.13.06 - «Автоматизация и управление

технологическими процессами и производствами

(в пищевой промышленности)»

05.18.04 – «Технология мясных, молочных и рыбных

продуктов и холодильных производств),

доцент, ведущий научный сотрудник,

руководитель направления «Информационные технологии»

Центра «Экономико-аналитических исследований и

информационных технологий»

Никитина Марина Александровна

20.09.2022.

Федеральное государственное

Бюджетное научное учреждение

«Федеральный научный центр

пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН

109316, г. Москва, ул. Талалихина, д. 26

тел. +7(495)676-95-11 доб. 297

E-mail: nikitinama@yandex.ru

ПОДПИСЬ РУКИ
ЗАВЕРЯЮ

Ведущий специалист
по управлению персоналом
Кудряшова У.А.

