



Проректор по научной работе

Аллояров К.Б.

«16» июня 2022 г.

Научный консультант – Благовещенский Иван Германович, доктор технических

наук, доцент, профессор кафедры «Информатика и вычислительная техника пищевых производств» ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств».

По итогам обсуждения диссертационной работы принято следующее заключение.

Актуальность темы.

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

В рыбной промышленности России происходят процессы цифровой трансформации. Количество внедренных современных технологий в производство товарной пищевой рыбной продукции является важным показателем развития отрасли.

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

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

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

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

Создание системы комплексных технологических решений, обеспечивающей в кратчайшие сроки проектирование и производство конкурентоспособной продукции с применением концепции «Фабрика Будущего» позволит сократить срок вывода продуктов на рынок, снизить отходо- и энергоемкость производства, а также повысить его гибкость.

Научная новизна

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

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

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

Практическая значимость

Разработаны следующие программные обеспечения: F_CHANGE для

универсальной копильно-сушильной установки (Свидетельство Роспатент №2012611079, 26.01.2012г.), FILTER_FOR TEMP для универсальной копильно-сушильной установки (Свидетельство Роспатент №2012611076, 26.01.2012г.), MIST.Reader_Owen (МИСт. Преобразование отчетов ОВЕН) (Свидетельство Роспатент №2008614098, 27.08.2008г.), MiST. Подпрограмма «Блокировка» для АВК-30М (Свидетельство Роспатент №2011619192, 29.11.2011г.), модуль расчета вспомогательных параметров в модели автоклава на шаге квантования (Свидетельство Роспатент № 2016611784, 10.02.2016 г.), Modeller (Свидетельство Роспатент № 2017612613 01.03.2017г.), оптимизация режимов релаксации в ходе процессов обезвоживания рыбного сырья. Программа поиска оптимума (Свидетельство Роспатент № 2015616010 29.05.2015г.), оптимизация режимов релаксации в ходе процессов обезвоживания рыбного сырья. Программа построения графиков (Свидетельство Роспатент № 2015616035 29.05.2015г.), оптимизация режимов релаксации в ходе процессов обезвоживания рыбного сырья. Программа подсчета экономии электроэнергии (Свидетельство Роспатент № 2015616036 29.05.2015 г.), модуль расчета параметров воды в модели автоклава на шаге квантования (Свидетельство Роспатент № 2015663200 14.12.2015г.), модель автоклава для тренажера процесса стерилизации (Свидетельство Роспатент № 2015663349 16.12.2015 г.), модуль расчета параметров воздушной среды в модели автоклава на шаге квантования (Свидетельство Роспатент № 2015663374, 16.12.2015 г.), модуль макросов для модели автоклава (Свидетельство Роспатент № 2015660200 16.12.2015 г.), PID_TEMP для универсальной копильно-сушильной установки (Свидетельство Роспатент №2012611077, 26.01.2012г.), PID_TEMP для универсальной копильно-сушильной установки (Свидетельство Роспатент №2012611139, 27.01.2012 г.), PLC_PRG для универсальной копильно-сушильной установки (Свидетельство Роспатент №2012615578, 20.06.2012 г.), вычисление адресов регистров CoDeSys для панели оператора «ОВЕН» СП270 по структуре данных (Свидетельство Роспатент №2012615411, 15.06.2012г.), моделирование временной зависимости температуры в дымогенераторе в процессе его работы (Свидетельство Роспатент №2012615580, 20.06.2012г.), моделирование звена задержки (Свидетельство Роспатент №2012615579, 20.06.2012г.), модуль расчета потерь массы сырья (Свидетельство Роспатент № 2014617595, 28.07.2014г.), Модуль подсчета, электроэнергии затраченной на технологический процесс (Свидетельство Роспатент № 2014617422, 21.07.2014 г., модуль задания режимов релаксации (Свидетельство Роспатент № 2014660787, 15.10.2014г., построение графиков по данным в формате .ods и моделирование объекта (Свидетельство Роспатент №2012615577, 20.06.2012 г.,

преобразование архивных данных трендов 3S CodeSys в структурированный численный вид (Свидетельство Роспатент №2012616384, 12.07.2012 г., программа управления секциями установки для поиска оптимальных технологических режимов (Свидетельство Роспатент №2014617478 , 23.07.2014г., программа пятиканального блока управления фазовыми регуляторами напряжения (Свидетельство Роспатент № 2014617596, 28.07.2014г., пятиканальный программный ШИМ для управления вентиляторами постоянного тока (Свидетельство Роспатент № 2014617477, 23.07.2014 г., расчет шага методом Рунге-Кутты 4-го порядка для инерционных звеньев 1-го и 2-го порядков (Свидетельство Роспатент №2012615581, 20.06.2012 г.). Получен патент на изобретение «Способ управления процессом стерилизации консервов, основанный на f-эффекте». Патент № 2471387 С1, МПК А23L 3/00. : 10.01.2013. Получены патенты на полезную модель Устройство для получения копильного препарата. Патент на полезную модель № 129365 U1, МПК А23В 4/044.: 27.06.2013, Малогабаритная установка для поиска оптимальных технологических режимов сушки сырья. Патент на полезную модель № 136962 U1, МПК А23В 4/03. 27.01.2014, Дымогенератор. Патент на полезную модель № 136963 U1, МПК А23В 4/044. : № 2013126807/13, 27.01.2014, Стерилизационная установка Патент на полезную модель № 94418 U1 МПК А23L 3/00, А23L 3/10. 27.05.2010.

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

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

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций.

Достоверность научных положений и обоснованность представленных в диссертационной работе результатов научного исследования, сформулированных на их основе выводов и рекомендаций, обеспечивается методологией, научными основами и формализованными методами построения автоматизированных систем управления технологическими процессами, методами идентификации и математического моделирования производственных процессов, строгостью выполненных расчетов.

Применение теории автоматического управления и методов аппроксимации и идентификации объекта управления показало непротиворечивость экспериментальных

данных и результатов научных исследований.

Полнота изложенных результатов диссертации в работах, опубликованных автором.

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

Основные публикации Кайченова А.В.:

1. Comparative analysis of temperature loggers used in the development of regimes for heat treatment of food production in autoclaves / A. Stolyanov, A. Zhuk, A. Kaychenov, L. Kuranova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Saint Petersburg, 17–18 апреля 2019 года. – Saint Petersburg: IOP Publishing, 2019. – P. 012031. – DOI 10.1088/1755-1315/302/1/012031. – EDN JAIPOZ.
2. Complex for modeling and optimization the sterilization process / A. Stolyanov, A. Zhuk, A. Kaychenov [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : 12th International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry, INTERAGROMASH 2019, Rostov-on-Don, 10–13 сентября 2019 года. – Rostov-on-Don: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 012016. – DOI 10.1088/1755-1315/403/1/012016. – EDN IVMGFP.
3. Development of an Autoclave Thermal Processes Model for the Simulator of Canned Food Sterilization Process / A. Kaychenov, A. Vlasov, A. Maslov [et al.] // International Applied Research Conference "Biological Resources Development and Environmental Management", Murmansk, 21 июня 2019 года. – Murmansk: Murmansk Marine Biological Institute, 2020. – P. 437-449. – DOI 10.18502/kl.v5i1.6103. – EDN YNKKIR.
4. Software for calculating the actual lethality of canned food heat treatment processes: Development and application / A. Zhuk, A. Stolyanov, A. Kaychenov [et al.] // E3S Web of Conferences : 14th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness, INTERAGROMASH 2021, Rostov-on-Don, 24–26 февраля 2021 года. – Rostov-on-Don: EDP Sciences, 2021. – DOI 10.1051/e3sconf/202127313002. – EDN VQZLFF.
5. Stolyanov, A. Review advances of Automation and Computer Engineering Department in the field of canned food sterilization over the past decade / A. Stolyanov, A. Zhuk, A. Kaychenov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : 5th International Conference "Arctic: History and Modernity" 18-19 March 2020, Saint-Petersburg, Russia, Saint-Petersburg, 18–19 марта 2020 года. – Saint-Petersburg: Institute of Physics Publishing, 2020. – P. 012086. – DOI 10.1088/1755-1315/539/1/012086. – EDN MIWCTX.
6. Идентификация параметров численной математической модели стерилизационной камеры судового автоклава ASCAMAT 230 с целью разработки оптимальной системы автоматического управления / А. В. Кайченов, А. В. Власов, А. А. Маслов [и др.] // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2018. – № 1. – С. 7-17. – DOI 10.24143/2072-9502-2018-1-7-17. – EDN YLUBLP.

7. Исследование влияния неоднородности температурного поля при продувке стерилизационной камеры автоклава на различие стерилизующих эффектов в банках / А.М. Ершов, Гроховский, А.А. Маслов, А.В. Власов, А. В. Кайченев // Вестник МГТУ. 2009. Т. 12, № 1. С. -. URL: http://vestnik.mstu.edu.ru/v12_1_n34/articles/12_vlas.pdf.
8. Исследование температурного поля промышленного автоклава ASCAMAT-230 / А. Столянов, А. Кайченев, Л. Куранова, А. Маслов, В. Гроховский // Вестник МГТУ. 2017. Т. 20, № 3. С. 563-571. URL: http://vestnik.mstu.edu.ru/v20_2_n72/07_Stoyanov_563_571.pdf.
9. Маслов, А. А. Исследование динамики теплообмена в стерилизационной камере автоклава / А. А. Маслов, А. В. Власов, А. В. Кайченев // Рыбное хозяйство. – 2009. – № 6. – С. 77-79. – EDN KZSECZ.
10. Оптимизация процесса стерилизации консервов в водной среде в автоклаве АВК-30М / А. В. Кайченев, А.А. Маслов, А.В. Власов, А.Р. Власова, А.И. Прыгунов // Вестник МГТУ. 2012. Т. 15, № 1. С. 049-053. URL: http://vestnik.mstu.edu.ru/v15_1_n47/articles/049_053_kaychen.pdf.
11. Оценка энергоэффективности введения режимов релаксации на универсальной копильно-сушильной установке / И. Ю. Селяков, А. А. Маслов, А. В. Кайченев [и др.] // Рыбное хозяйство. – 2013. – № 6. – С. 111-115. – EDN RWGHOD.
12. Предварительный подбор режима стерилизации консервов "Скумбрия атлантическая натуральная с добавлением масла" на основе разработанных математических моделей процесса / А. Маслов, А. Столянов, А. Кайченев, Л. Куранова // Вестник МГТУ. 2016. Т. 19, № 4. С. 861-868. URL: http://vestnik.mstu.edu.ru/v19_4_n68/23_Maslov_861_868.pdf.
13. Применение моделирования режимов тепловой стерилизации для улучшения показателей качества консервной продукции / А. Столянов, А. Кайченев, А. Маслов, А. Власов, В. Ерещенко // Вестник МГТУ. 2015. Т. 18, № 1. С. 110-116. URL: http://vestnik.mstu.edu.ru/v18_1_n60/110_116_stolya.pdf.
14. Разработка модели автоклава для тренажера процесса стерилизации / А. В. Власов, А. Р. Власова, А. В. Кайченев [и др.] // Рыбное хозяйство. – 2015. – № 6. – С. 106-109. – EDN VOMAON.
15. Разработка математической модели малогабаритной установки для поиска оптимальных режимов / И. Ю. Селяков, А. А. Маслов, А. В. Кайченев [и др.] // Рыбное хозяйство. – 2014. – № 3. – С. 108-113. – EDN TCWUNX.
16. Разработка режимов стерилизации консервов из гидробионтов с использованием средств вычислительной техники / А. В. Кайченев, А.В. Власов, А.А. Маслов, И.Ю. Селяков, А.Р. Власова // Вестник МГТУ. 2014. Т. 17, № 1. С. 46-52. URL: http://vestnik.mstu.edu.ru/v17_1_n56/46_52_kayche.pdf.
17. Реализация программы управления сушильной установкой для обеспечения комбинированных режимов обезвоживания с линейно изменяющимся временем релаксации рыбы / И. Ю. Селяков, А. А. Маслов, А. В. Кайченев [и др.] // Рыбное хозяйство. – 2014. – № 3. – С. 126-128. – EDN TCWUPB.
18. Совершенствование способа стерилизации консервов из гидробионтов / А. В. Кайченев, В. А. Гроховский, А. А. Маслов [и др.] // Рыбное хозяйство. – 2011. – № 3. – С. 112-113. – EDN OCPQVL.
19. Совершенствование стерилизационной установки на базе модернизированного медицинского стерилизатора ВК-30 / А.А. Маслов, А.В. Власов, А. В. Кайченев, А.Р. Власова, В.В. Яценко // Вестник МГТУ. 2009. Т. 12, № 2. С. -. URL: http://vestnik.mstu.edu.ru/v12_2_n35/articles/14_vlas.pdf.
20. Сопоставление модернизированного и традиционного способов стерилизации консервов / А. В. Кайченев, А.В. Власов, А.Р. Власова, В.А. Гроховский, Л.К. Куранова // Вестник МГТУ. 2013. Т. 16, № 3. С. 560-565. URL: http://vestnik.mstu.edu.ru/v16_3_n53/560_565_kayche.pdf.

21. Способ оптимального управления температурой в автоклаве на основе регулятора "с предсказанием" / А.А. Маслов, А.В. Власов, А. В. Кайченков, А.Р. Власова, В.В. Яценко // Вестник МГТУ. 2011. Т. 14, № 3. С. -. URL: http://vestnik.mstu.edu.ru/v14_3_n45/articles/13_maslo.pdf.

22. Экономичная методика разработки режимов стерилизации консервов из гидробионтов для промышленных автоклавов / А. Столянов, А. Кайченков, А. Власов, А. Маслов // Вестник МГТУ. 2015. Т. 18, № 4. С. 661-666. URL: http://vestnik.mstu.edu.ru/v18_4_n63/13_Stolyanov_661_666.pdf.

Апробация работы

Основные результаты диссертации докладывались на научно-технических конференциях "Наука и образование" (Мурманск, 2008-2021); XI Международной научно-практической конференции «Современные технологии в машиностроении» (Пенза, 2007), международной научно-технической конференции «Автоматизация и энергосбережение машиностроительного производства, технология и надежность машин, приборов и оборудования» (Вологда, 2007), юбилейной международной научной конференции «Инновации в науке и образовании-2008» (Калининград, 2008), всероссийских научно-практических конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых "Молодежь и современные информационные технологии" (Томск, 2009-2010); международной научно-практической конференции, посвященной памяти профессора Н. Н. Рулева "Техника и технологии переработки гидробионтов и сельскохозяйственного сырья" (Мурманск, 2008); X Московском международном салоне инноваций и инвестиций (Москва, 2010, золотая медаль), Международной научно-практической конференции молодых учёных, аспирантов и студентов, «Наукові здобутки молоді у вирішенні актуальних проблем виробництва та переробки сировини, стандартизації і безпеки продовольства» (Украина, Киев, 2011), международной научно-технической конференции (Вологда, 2013), всероссийской научно-практической конференции «Наука, образование, инновации: пути развития» (Петропавловск-Камчатский, 2013), международной научно-практической конференции «Инновация-2013» (Ташкент, 2013), международной научно-практической конференции «Перспективы развития науки и образования» (Курск, 2014), международной научно-практической конференции «Наука – производству» (Мурманск, 2015-2018), International Scientific Conference on Arctic: History and Modernity. (Saint Petersburg, 2019), International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry (Rostov-on-Don, 2019), Applied Research Conference "Biological Resources Development and Environmental Management" (Murmansk, 2020), International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness, (Rostov-on-Don, 2021), International Conference "Arctic: History and Modernity" (Saint-Petersburg, 2020).

Соответствие диссертации научной специальности. Представленная Кайченковым А.В. диссертация соответствует требованиям п.п. 9-11 Положения ВАК о присуждении ученых степеней.

Научные положения соответствуют третьей, четвертой, шестой и десятой областям исследований паспорта специальности 2.3.3 Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Диссертация Кайченкова Александра Вячеславовича является завершенной научно квалификационной работой, содержащей результаты, полученные на основании исследований, проведенных на высоком и техническом уровне с применением современных методов и интеллектуальных технологий. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные автором, теоретически обоснованы. Представленные в работе результаты оригинальны, достоверны и отличаются научной новизной и практической значимостью.

С учётом вышеизложенного научная работа Кайченкова Александра Вячеславовича на тему «Комплексная модернизация систем управления процессами тепловой обработки водных биоресурсов Арктики с использованием интеллектуальных технологий» рекомендуется к защите на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 2.3.3 - «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами».

Заключение принято на заседании Научно-технического совета ФГАОУ ВО "МГТУ".

На заседании присутствовало 12 чел. Результаты голосования: "за" - 12 чел., "против" - 0, "воздержались" - 0, протокол № 4 от 16.06.2022 г.

Председатель заседания научно-технического совета
ФГАОУ ВО "МГТУ"



Аллояров К.Б.

*Ученый секретарь
НТС / Кайченков А.В. /*