



БЛАГОВЕЩЕНСКИЙ ВЛАДИСЛАВ GERMAHOVИЧ

**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ КОНТРОЛЯ
ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА
КОНДИТЕРСКОЙ ПРОДУКЦИИ И СОЗДАНИЕ НА ИХ БАЗЕ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ**

Специальность 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими
процессами и производствами

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва – 2025

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет (ФГБОУ ВО «РТУ МИРЭА»)

Научный консультант: **Краснов Андрей Евгеньевич**, доктор физико-математических наук, профессор, ФГБОУ ВО «МИРЭА -Российский технологический университет», профессор кафедры математического обеспечения и стандартизации информационных технологий Института информационных технологий

Официальные

оппоненты: **Колыбанов Кирилл Юрьевич**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Информационные технологии и системы» института информационных наук и технологий безопасности ФГАОУ ВО «Российский государственный гуманитарный университет»
Богатиков Валерий Николаевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры радиотехнических информационных систем ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет»
Бессарабов Аркадий Маркович, доктор технических наук, профессор, заместитель директора по науке АО Научный центр «Малотоннажная химия»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «**Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского**» (Первый казачий университет)

Защита состоится «24» декабря 2025 г. в 12.00 час. на заседании диссертационного совета 24.2.334.01 по защите докторских и кандидатских диссертаций на базе ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)» по адресу: 109316, г. Москва, ул. Талалихина, д.33, конференц-зал.

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

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

Автореферат разослан «___» _____ 2025 г.

Ученый секретарь диссертационного совета 24.2.334.01,
кандидат технических наук, доцент

 Полевщиков И.С.

Общая характеристика работы.

Актуальность проблемы

В настоящее время пищевая промышленность России представляет собой одну из стратегических отраслей экономики, которая призвана обеспечить население страны необходимыми по количеству и качеству продуктами питания.

Кондитерская отрасль по своим масштабам занимает четвертое место среди пищевых отраслей (следуя за хлебопекарной, молочной и рыбной). Рост производительности в кондитерской промышленности способствует росту производительности всей пищевой промышленности, повышению уровня экономического развития страны и уровня жизни населения.

Основная задача управления качеством кондитерской продукции - обеспечение стабильности производственных процессов, своевременное выявление брака и других несоответствий выпускаемых кондитерских изделий установленным требованиям. Поэтому для эффективного управления производством необходимо наличие достоверных данных о показателях качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции. При этом важно, чтобы данные были получены в кратчайшие сроки, так как оперативность, достоверность и своевременность получения данных значительно влияет на скорость и правильность принятия решений.

Анализ состояния автоматизации технологических процессов кондитерских производств показывает, что на действующих предприятиях из-за частой смены ассортимента кондитерских изделий, многомерности, больших объемов производимой продукции, нелинейности, многоканальности производственной информации отсутствуют эффективные современные системы автоматического контроля и управления качеством производимых изделий. Из-за отмеченной сложности производства кондитерской продукции и неоднородности поступающего сырья, существует огромное количество различных комбинаций факторов, влияющих на эффективность производственных процессов. При этом число оптимальных вариантов сочетаний таких факторов, весьма ограничено. Поиск и обоснование оптимальных сочетаний способствует в дальнейшем, на базе полученных результатов, переходу к разработке интеллектуальных систем контроля и управления, позволяющих осуществлять своевременное необходимое автоматическое изменение технологических параметров процесса и режимов работы используемого оборудования.

Для разработки таких систем необходима, в первую очередь, автоматизация контроля в потоке, в режиме реального времени, основных органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий, и создания, на этой основе, систем автоматического контроля и управления с использованием технологий искусственного интеллекта.

На сегодняшний день накоплен практический и теоретический объем информации по автоматизации технологических процессов пищевых производств с использованием современных информационных технологий, которые проводили И.А. Авцинов, О.Л. Ахремчик, В.К. Битюков, М.М. Благовещенская, И.Г. Благовещенский, В.Н. Богатилов, Н.И. Гданский, Ю.Ю. Громов, М.В., А.Ф. Егоров, Ю.А. Ивашкин, В.А. Каргин, С.А. Красников, А.Е. Краснов, А.Б. Лисицын, М.А. Никитина, С.В. Николаева, В.О. Новицкий, Н.В. Остапчук, С.М. Петров, , А.Ю.

Просеков, С.П. Сердобинцев, А.В. Татаринов, В.Я. Черных, Е.Д. Чертов, А.В. Шаверин, А.Е. Яблоков и др.

В настоящей работе учтен и проработан опыт предыдущих исследований, использованы рекомендации, приводимые перечисленными авторами.

Проведенные исследования кондитерских производств показали, что важнейшими показателями при оценке качества кондитерских продуктов являются органолептические показатели (вкус, цвет, запах, внешний вид и др.). Оценку этих свойств в настоящее время осуществляют в лабораториях кондитерских предприятий сенсорными методами эксперты - дегустаторы. Такой контроль не позволяет реализовать функции по автоматическому управлению качеством готовой кондитерской продукции и имеет фактор субъективности.

Решение данной проблемы требует наличия современных средств непрерывного автоматического контроля в потоке органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции за счет внедрения высокоэффективных интеллектуальных технологий в производственный процесс и создания на этой основе интеллектуальных автоматизированных систем управления.

Трудность решения задач автоматизации контроля в потоке данных органолептических показателей заключается в том, что кондитерские массы представляют собой сложные и неоднородные многокомпонентные смеси, состояние которых зависит от многих факторов (состава сырья, режимов работы оборудования, структурно-механических свойств и т.д.). Все это вызывает частые колебания параметров процессов приготовления многокомпонентных кондитерских масс, что отражается на качестве полуфабрикатов и готовой продукции.

Успешное решение этой проблемы возможно лишь при создании и внедрении в производственный процесс интеллектуальных систем автоматического контроля и управления с использованием высокоэффективных интеллектуальных технологий и систем: искусственных нейронных сетей (ИНС), систем компьютерного зрения (СКЗ), мультиагентных имитационных технологий моделирования, цифровых двойников, технологий интернет вещей, виртуальной и дополненной реальности, цифровых двойников и т.д.

Создание такой системы позволит: перейти к цифровизации процессов кондитерского производства; непрерывно, в режиме реального времени автоматически контролировать органолептические показатели качества сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции в течение всего технологического процесса; обеспечить стабильность производства и высокое качество кондитерских изделий; существенно уменьшить уровень брака, снизить потери рабочего времени, сырья и энергии.

Решение этих актуальных задач является крупной проблемой, позволяющей значительно повысить эффективность сложных многостадийных технологических процессов (ТП) кондитерских производств.

Исходя из вышеизложенного, тема диссертационной работы «Методологические основы автоматизации контроля органолептических показателей качества кондитерской продукции и создание на их базе интеллектуальных систем контроля и управления» является актуальным направлением развития кондитерской промышленности, имеющим важное народнохозяйственное значение, а также

актуальной научно- технической задачей специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Диссертация соответствует паспорту специальности 2.3.3, а именно пунктам: «2. Автоматизация контроля и испытаний», «3. Методология, научные основы, средства и технологии построения автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) и производствами (АСУП), а также технической подготовкой производства (АСТПП) и т. д.», «4. Теоретические основы и методы моделирования, формализованного описания, оптимального проектирования и управления технологическими процессами и производствами», «5. Научные основы, алгоритмическое обеспечение и методы анализа и синтеза систем автоматизированного управления технологическими объектами», «6. Научные основы и методы построения интеллектуальных систем управления технологическими процессами и производствами», «8. Научные основы, модели и методы идентификации производственных процессов, комплексов и интегрированных систем управления и их цифровых двойников», «10. Формализованные методы анализа, синтеза, исследования и оптимизация модульных структур систем сбора, хранения, обработки и передачи данных в АСУТП, АСУП, АСТПП и др.», «11. Методы создания, эффективной организации и ведения специализированного информационного и программного обеспечения АСУТП, АСУП, АСТПП и др., включая базы данных и методы их оптимизации», «12. Методы создания специального математического и программного обеспечения, пакетов прикладных программ и типовых модулей функциональных и обеспечивающих подсистем АСУТП, АСУП, АСТПП и др., включая управление исполнительными механизмами в реальном времени».

На основании вышеизложенного следует сделать вывод об актуальности темы диссертационной работы.

Цель работы и задачи исследования.

Целью диссертационной работы является разработка методологических основ цифровой трансформации производственных процессов кондитерской промышленности на основе автоматизации контроля в режиме реального времени органолептических показателей качества кондитерской продукции различной структуры, и создания на их базе интеллектуальных систем управления нового поколения.

Для реализации указанной цели были поставлены и решены следующие **задачи исследований:**

- Анализ, как объектов автоматизации, разных по структуре и видов ТП производства кондитерской продукции с целью оценки протекающих в них информационных процессов; анализ и определение органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий, подлежащих автоматическому контролю на каждой стадии производства кондитерской продукции; обобщение и анализ факторов, нарушающих устойчивое функционирование системы, и разработка нового подхода к автоматизации контроля и управления качеством этой продукции с использованием интеллектуальных технологий.
- Создание системной диаграммы решения проблемы, разработка концептуальной структурно-динамической модели создания интеллектуальной систе-

мы автоматического контроля и управления качеством кондитерской продукции в процессе производства.

- Выявление оптимальных методов, алгоритмов и технологий искусственного интеллекта для их использования при разработке интеллектуальной системы автоматического контроля и управления (ИСАКиУ) качеством кондитерской продукции.
- Разработка инструментария для автоматического контроля в режиме реального времени органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых кондитерских изделий.
- Проведение экспериментальных исследований и создание на этой базе структурно-параметрических, математических, ситуационных и имитационных моделей ТП производства кондитерской продукции различной структуры для прогнозирования и управления качеством этой продукции на всех стадиях производства.
- Цифровизация ТП производства кондитерской продукции с использованием цифровых двойников (ЦД). Методика автоматизации создания ЦД производства кондитерской продукции с разработкой необходимых для их создания инструментальных средств.
- Автоматизация создания новой линейки оригинальной персонализированной кондитерской продукции нового поколения с использованием разработанных интеллектуальных средств автоматического контроля и управления.
- Разработка концепции построения интеллектуальных систем автоматического контроля и управления качеством (ИСАКиУК) разнообразной кондитерской продукции на базе гибридных интеллектуальных методов и технологий. Разработка типовой ИСАКиУК кондитерской продукции.
- Разработка информационного, математического и программного обеспечения ИСАКиУК кондитерской продукции.
- Интеграция существующих АСУТП с новыми решениями оптимизационных задач на основе использования предлагаемых средств контроля и управления для внедрения в линии производства кондитерской продукции.
- Внедрение результатов исследования в линии производства кондитерской продукции, учебный процесс и научные исследования.

Объектом исследования являются технологические процессы производства кондитерской продукции и процессы сбора, анализа и обработки информации в задачах непрерывного контроля и управления качеством этой продукции.

Предметом исследования являются совокупность теоретических, методологических и практических проблем, связанных с созданием интеллектуальной системы автоматического контроля и управления качеством кондитерской продукции в режиме реального времени и соответствующее информационное, математическое, алгоритмическое и программное обеспечение.

Методы и средства исследований. Поставленные в работе задачи решены с использованием методологических и математических основ построения интеллектуальных систем поддержки и принятия решений; методики построения реляционных баз данных и баз знаний; теории нейронных сетей; теории цифровой обработки изображений; теории кастомизации; общих принципов математического, имитационного и мультиагентного моделирования; элементов теории ис-

кусственного интеллекта; методов системного анализа и математической статистики. Численная и графическая обработка результатов исследований производилась с применением MatLab и Anylogic.

Научная новизна исследования

1. Определены направления цифровизации ТП производства кондитерской продукции.
2. Разработаны методологические основы анализа технологических процессов производства кондитерской продукции разной структуры как объектов автоматизации. Разработаны функционально-структурные схемы (ФСС) влияния показателей качества исходного сырья и промежуточных операций на формирование качества готовой кондитерской продукции с указанием необходимых точек контроля и регулирования.
3. Разработана концептуальная структурно- динамическая модель интеллектуальной системы автоматического контроля и управления качеством (ИСАКиУК) различной кондитерской продукции в процессе производства и на её основе получена стратегическая карта создания такой системы.
4. Разработана и теоретически обоснована методология создания нового поколения интеллектуальных средств автоматизации контроля основных органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции.
5. Предложены методы и способы автоматического контроля в режиме реального времени следующих органолептических показателей качества: коэффициента извлечения примесей в сырье; внешнего вида сырья и готовых изделий; угла естественного откоса; блеска поверхности готовых изделий; формы, размера и количества изделий на транспортере; консистенции; вкуса; запаха; цвета; вязкости.
6. Проведено научное обоснование и разработан комплекс структурно – параметрических, математических, ситуационных и имитационных моделей ТП производства кондитерской продукции, позволяющих получать устойчивые решения ИСАКиУК в условиях ограниченной исходной информации.
7. Предложены научные основы автоматизации создания цифровых двойников (ЦД) ТП производства кондитерской продукции на основе их структурно- параметрических, математических, ситуационных и имитационных моделей
8. Разработаны методологические основы автоматизации создания современной линейки персонализированной кондитерской продукции нового поколения. Разработана методика автоматического перевода новых изделий в цифровую форму.
9. Разработана концепция создания ИСАКиУК кондитерской продукции.
10. Разработаны методологические основы создания типовой ИСКАиУ качеством кондитерской продукции с применением нейросетевых прогнозирующих регуляторов и техническими решениями для обеспечения работы этой системы.
11. Представлены модернизированные функциональные схемы автоматизации (ФСА) основных этапов процессов производства кондитерской продукции разной структуры с включением в эти схемы разработанных интеллектуальных средств автоматического контроля органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий.

Практическая значимость результатов исследования

Разработаны следующие программные обеспечения ИСАКиУ:

1. «Модуль расчета угла естественного откоса» (Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ RU 2025661081, 29.04.2025);
2. «Программа мониторинга извлечения примесей при сепарировании семян подсолнечника» (Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ RU 2025619028, 14.04.2025);
3. «МИКРОСПЕКТР. МОДУЛЬ 2» (Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ RU 2024613819, 15.02.2024);
4. «Модуль расчета консистенции с фиксированным таймингом» (Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ RU 2025614754, 25.02.2025);
5. «Конструктор внешнего вида и формы кондитерских изделий» (Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ RU 2025613322, 11.02.2025);
6. «Модуль машинного зрения для расчета консистенции» (Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ RU 2025615894, 11.03.2025);
- 7 «Модуль расчета вязкости» (Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ RU 2025662616, 22.05.2025).
8. «Программа для оценки цвета кондитерских изделий» (Свидетельство Роспатента о регистрации программы для ЭВМ RU 2025666321, 25.06.2025).
9. «Модуль расчета оценки вкуса кондитерских изделий на производстве» (Свидетельство Роспатента о регистрации программы для ЭВМ RU 2025682461, 22.08.2025).
10. «Программный модуль расчета для оценки запаха кондитерских изделий на производстве» (Свидетельство Роспатента о регистрации программы для ЭВМ RU 2025683407, 03.09.2025).

Разработаны базы данных:

11. «Органолептические показатели качества современной кондитерской продукции» (Свидетельство Роспатента о государственной регистрации базы данных RU № 2024625642 от 02 декабря 2024);
12. «Реологические показатели качества современной кондитерской продукции» (Свидетельство Роспатента о государственной регистрации базы данных RU 2024626158, 19.12.2024).
13. Получен патент на «Способ и устройство для Фурье- анализа жидких светопропускающих сред» (Патент на изобретение RU 2770415 С1, 15.04.2022. Заявка № 2021101580 от 26.01.2021).

Разработано новое поколение интеллектуальных средств автоматического контроля основных органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции в режиме реального времени.

Разработаны основные этапы автоматизации создания новой оригинальной персонализированной кондитерской продукции с использованием интеллектуальных технологий.

Разработана типовая ИСАКиУК кондитерской продукции и основные виды ее обеспечения: информационное, математическое и программное.

Разработанные методы, модели, алгоритмы, способы, структуры и программы прошли апробацию и были внедрены в конфетном цехе ОАО «Рот-Фронт» Холдинга «Объединенные кондитеры», а также на других кондитерских

фабриках Холдинга ООО «Объединенные кондитеры»; в научно-исследовательском институте вычислительных комплексов имени М.А. Карцева, а также использованы в специализированной профильной фирме ООО «ЭлитМатик (Промышленная автоматизация, роботы, техническое зрение)», что подтверждается соответствующими актами внедрения научно-технической продукции.

Полученные в рамках настоящего исследования научные и практические результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс кафедры промышленной информатики ФГБОУ ВО «МИРЭА – РТУ», а также на кафедре «Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами» ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ» для студентов направлений подготовки «Автоматизация технологических процессов и производств» и «Управление в технических системах». Имеются соответствующие акты внедрения.

Достоверность и обоснованность полученных в работе результатов подтверждается корректным использованием методов системного анализа и теории принятия решений, результатами апробирования разработанных технических решений в производственных условиях ОАО «Рот-Фронт» Холдинга «Объединенные кондитеры», публикацией научных трудов, а также обеспечивается совпадением расчетных данных и результатов эксперимента.

Часть диссертационной работы выполнялась в рамках научной темы РНФ № 23-79-10162 «Математическое моделирование и управление процессом формирования профессиональных навыков у технологов пищевых производств на основе компьютерных тренажерных комплексов» в качестве исполнителя.

Положения, выносимые на защиту

1. Методологические основы анализа технологических процессов производства кондитерской продукции различной структуры как объектов автоматизации.
2. Методы, модели и алгоритмы построения интеллектуальной системы автоматического контроля и управления качеством кондитерской продукцией.
3. Методология создания нового поколения интеллектуальных средств автоматизации контроля важнейших органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции в режиме реального времени.
4. Методологические основы построения цифрового двойника автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУТП) производства кондитерских изделий.
5. Методологические основы автоматизации создания новой линейки оригинальной персонализированной кондитерской продукции с использованием интеллектуальных технологий.
6. Методологические основы создания интеллектуальной системы автоматического контроля и управления качеством (ИСАКиУК) кондитерской продукции.
7. Модернизация функциональных схем автоматизации (ФСА) процессов производства кондитерской продукции с включением в эти схемы разработанных интеллектуальных средств автоматического контроля органолептических показателей качества сырья и готовых изделий.
8. Разработка технологического обеспечения интеллектуальной системы автоматического контроля и управления качеством кондитерской продукции в процессе производства.

Апробация работы.

Основные положения диссертационной работы были обсуждены и одобрены на: конференции «21 век: фундаментальная наука и технологии» (« 21 century: fundamental science and technology V») ,10-11 ноября 2016 г., North Charleston, USA ; конференции «Автоматизация и управление технологическими и бизнес – процессами пищевой промышленности», 18 – 20 мая 2016 г., МГУПП; V международной НП конференции «21 век: фундаментальная наука и технологии» («21 century: fundamental science and technology V») , Институт вычислительных технологий СО РАН; Международной НП конференции «Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности», МГУПП. 2019; Conference Series. Сер. «International Meeting – Fundamental and Applied Problems of Mechanics», Bauman Moscow State Technical University. 2019; П международной НП конференции «Цифровизация Агропромышленного комплекса», Тамбов. 2020; П международной специализированной конференции- выставке «Фабрика будущего», МГУПП. 2020; «Глобальный продовольственный Форум», Москва, 2021; «Цифровизация пищевой промышленности и продовольственных систем», Москва, 2021; «Информатизация и автоматизация в пищевой промышленности», Москва, 2022; III Международной специализированной конференции – выставки «Фабрика будущего», Москва, 2022; IV Международной специализированной конференции – выставки «Фабрика будущего», Москва, 2023; НП конференции с международным участием «Современные проблемы автоматизации ТП и производств», Москва, октябрь, 2023; У Международной специализированной конференции – выставки «Фабрика будущего», Москва, 2024; Всероссийской конференции с международным участием «Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами», Москва, 11.12.2024; УI Международной НТ конференции «Фабрика будущего», Москва, 2025.

На различных этапах выполнения содержание отдельных разделов, результаты исследований и диссертация в целом были доложены и получили одобрение на расширенных заседаниях кафедры АСУБП ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет».

Личное участие автора. Диссертационная работа является обобщением научных исследований, проведенных в 2015 – 2025 гг. лично автором.

Публикации. Основное содержание диссертационной работы отражено в 250 печатных работы. Из них 3 монографии, 2 учебных пособия, 1 патент на изобретение, 10 свидетельств о регистрации программы для ЭВМ, 2 свидетельства о регистрации базы данных, 25 статей в журналах, входящих в Перечень ВАК, а также 211 статей в других профессиональных журналах и научных сборниках.

Структура и объем работы.

Диссертационная работа состоит из введения, 7 глав, заключения и списка используемой литературы (296 источников). Работа изложена на 533 страницах машинописного текста, содержит 193 рисунка, 33 таблицы и 18 приложений.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность диссертационной работы, формулируются ее цели и задачи, научная новизна и практическая значимость полученных результатов, сформулированы положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена методологическим основам анализа подготовленности ТП производства кондитерской продукции к внедрению интеллектуальных автоматизированных систем, постановке задач исследования.

В рамках этой главы проведены исследования и анализ разных по структуре и типам ТП кондитерского производства (шоколада; суфле; халвы; мармелада; карамели; зефира; козинак; драже; ириса) как объектов автоматизации. Изучены и определены основные технологические и режимные параметры, оказывающие наибольшее влияние на качество кондитерских продуктов. На основании полученных результатов разработаны функционально-структурные схемы (ФСС) влияния качества сырья и промежуточных операций на качество готовых изделий. На рисунке 1 в качестве примера показана разработанная ФСС ТП производства халвы с указанием необходимых точек контроля и регулирования.

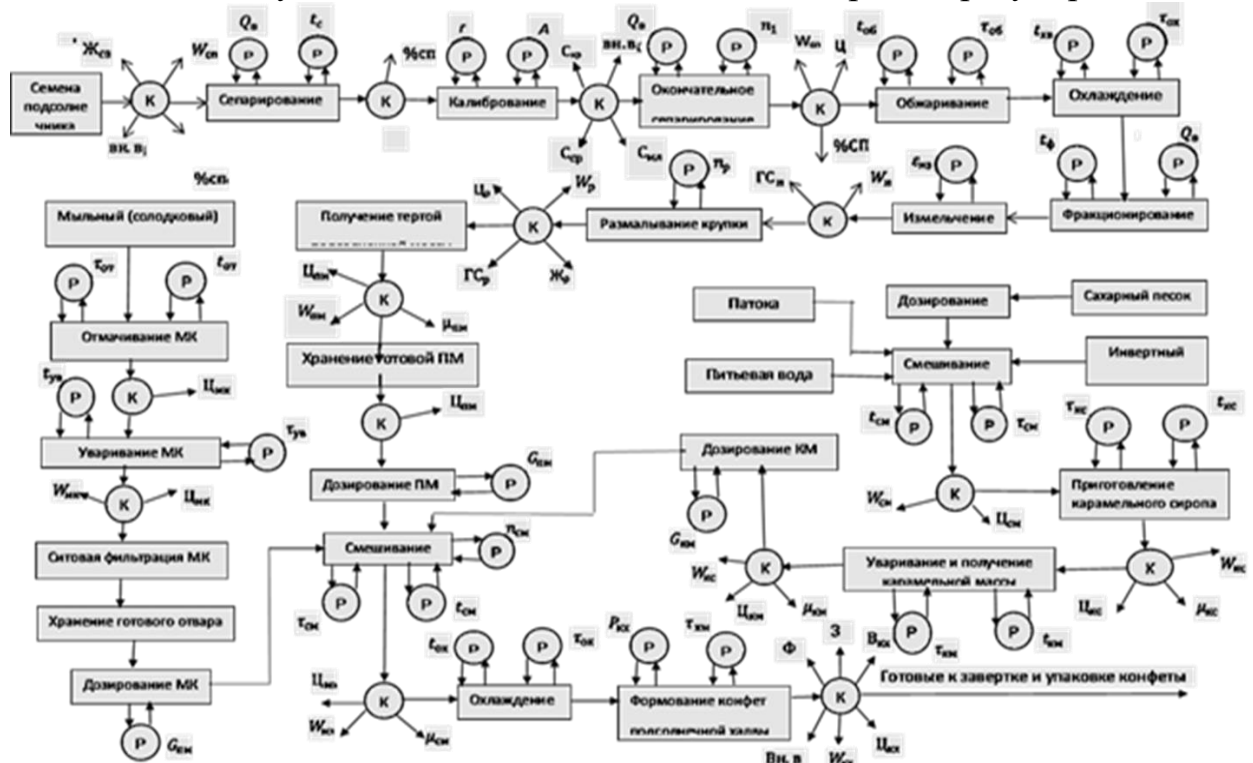


Рисунок 1 - ФСС ТП производства халвы с указанием необходимых точек контроля и регулирования

Важнейшими показателями при оценке качества кондитерских продуктов по ГОСТу являются органолептические показатели (вкус, цвет, запах, внешний вид, форма, консистенция и др.). Установлено, что применяемая в настоящее время оценка этих органолептических показателей качества производится сенсорными методами экспертами-технологами путем дегустационного или визуального анализа. Показана необходимость разработки средств автоматического контроля в режиме реального времени данных органолептических показателей качества. Проведены экспериментальные исследования и построены органолептические профили исследуемых кондитерских изделий.

Таблица 1 – Основные органолептические показатели качества конфет

№ п/п	Наименование производства	Профилограммы с указанием основных органолептических показателей качества конфет в соответствии с ГОСТами, НТД
1	Производство шоколада	
2	Производство помадных конфет	
3	Производство сбивных конфет	
4	Производство халвы	
5	Производство мармелада	
6	Производство карамели	
7	Производство зефира	

8	Производство козинак	Вкус; запах; угол откоса; внешний вид; массовая доля влаги; форма; консистенция; вязкость	
9	Производство драже	Вкус; запах; консистенция; цвет; форма; состояние поверхности; внешний вид (в т. ч. блеск поверхности).	
10	Производство ириса	Вкус; запах; состояние поверхности, консистенция; структура; форма.	

Выполненные исследования позволили получить таблицу 1 с профилограммами, в которой представлены выявленные наиболее важные органолептические показатели качества, контролируемые на каждой стадии производства.

Анализ данной таблицы 1 позволил выбрать и обосновать наиболее информативные органолептические показатели качества сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции, которые необходимо контролировать автоматически в режиме онлайн в процессе производства. Это: коэффициент извлечения примесей; угол естественного откоса сыпучих масс; вкус; запах; цвет, внешний вид, размер изделия, состояние поверхности готовых конфет, в том числе блеск поверхности, консистенция и вязкость.

Проведенные исследования показали необходимость разработки и внедрения интеллектуальных средств автоматического контроля выбранных органолептических показателей, и создания на их базе интеллектуальной системы управления качеством производства кондитерской продукции.

Сформулированы проблемы данного исследования. Для понимания целей создания ИСАКиУ качеством кондитерской продукции было разработано дерево целей, на базе которого создана системная диаграмма решения проблемы, разработана концептуальная структурно- динамическая модель системы контроля и управления качеством различной кондитерской продукции. Также разработана стратегическая карта создания этой интеллектуальной системы.

Вторая глава посвящена выбору и научному обоснованию наиболее эффективных интеллектуальных технологий и систем для их использования при создании ИСАКиУК производства кондитерской продукции.

В рамках этой главы проведен системный анализ методов, алгоритмов и технологий с точки зрения возможности и эффективности их использования при разработке ИСАКиУК кондитерской продукции. Рассмотрены проблемы автоматизации управления ТП производства этой продукции и пути их преодоления.

Проведена оценка возможностей практического применения различных методов, алгоритмов и классов адаптивных систем для управления производствами, которые показали сложность их внедрения в существующие АСУТП предприятий.

Проведен анализ возможности использования методов искусственного интеллекта для решения задач цифровизации управления ТП производства кондитерских изделий, который показал эффективность использования интеллектуальных информационных систем и технологий. Рассмотрены особенности, признаки, функции и специфика их использования. Показано, что практической базой для реализации этой проблемы, в условиях нестабильности качества поступающего на производство сырья, влияния многочисленных факторов и режимных параметров используемого оборудования, может стать создание ИСАКиУ, включающей в свой арсенал такие интеллектуальные информационные системы и технологии, как нейросетевые технологии, системы компьютерного зрения, технологии имитационного моделирования, виртуальной и дополненной реальности, цифровые двойники, технологии интернет вещей и эффективное их сочетание.

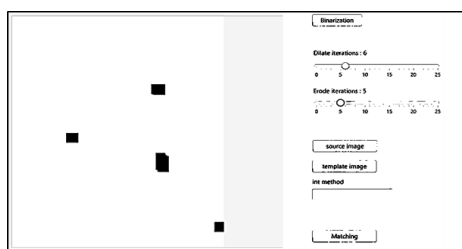
Третья глава посвящена автоматизации контроля в режиме реального времени органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции с использованием интеллектуальных технологий.

В рамках данной главы рассмотрено современное состояние методов и систем контроля и управления качеством продукции на кондитерских предприятиях. Проанализированы существующие в настоящее время инструменты контроля органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий, используемые в процессе производства кондитерской продукции.

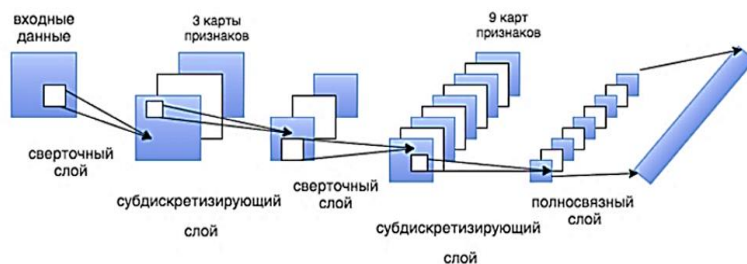
Анализ проведенных в работе исследований позволил разработать методы и средства автоматического контроля в режиме реального времени основных органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых кондитерских изделий, представленные в таблице 2.

Таблица 2 – Методы и средства автоматического контроля в режиме реального времени органолептических показателей качества (ОПК) сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции с использованием интеллектуальных технологий

1	<p>Методы и средства автоматического определения коэффициента извлечения примесей. Получено свидетельство Роспатента RU № 2025619028 от 14 апреля 2025 г. «Программа мониторинга извлечения примесей при сепарировании семян подсолнечника»</p> <p>Выбран метод объектно-ориентированных языков программирования с использованием СКЗ и НСТ. Разработана программа для автоматического контроля в режиме реального времени коэффициента извлечения примесей с использованием библиотеки OpenCV (Open Computer Vision) для языка программирования Java.</p> <div>   </div> <div> <p>Фрагмент программы. Класс Mat использовался для хранения изображений</p> <p>Бинаризация изображения. Подбор пороговых значений</p> </div>
---	--



Результат применения методов Erode и Dilate



Для контроля примесей в сырье использовалась сверточная нейронная сеть.

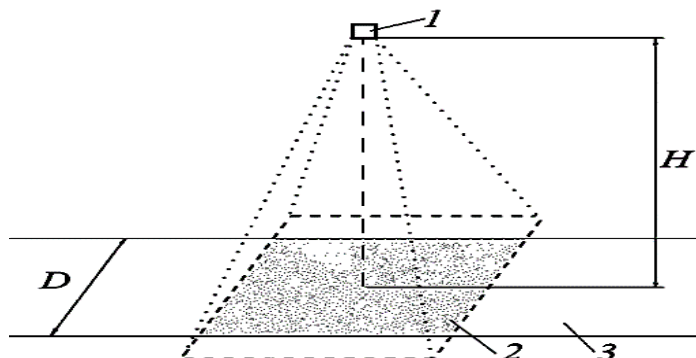
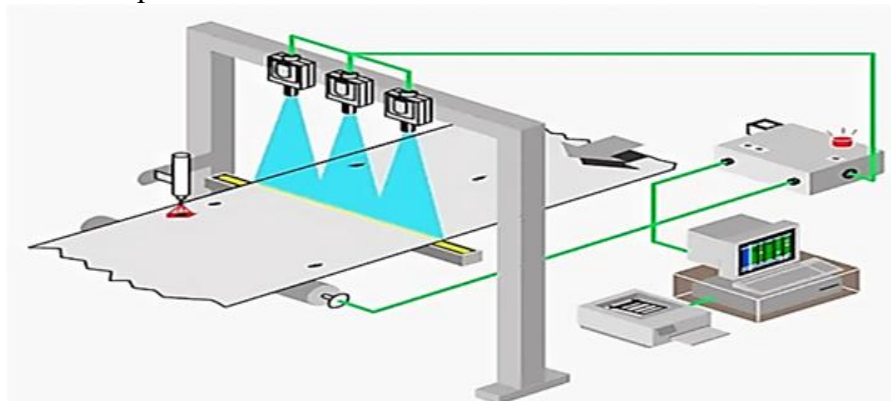


Схема расположения видеокамеры 1 над конвейерной линией 3.

- | | |
|---|--|
| 2 | <p>Методы и средства автоматического определения внешнего вида сырья и готовых кондитерских изделий. Получено свидетельство Роспатента RU № 2025613322 от 11 февраля 2025 г. «Конструктор внешнего вида и формы кондитерских изделий»</p> |
|---|--|

Использованы: СКЗ, НСТ. Разработан алгоритм распознавания СКЗ внешнего вида сырья как множественного количества объектов растительного происхождения. Разработан нейросетевой классификатор по распознаванию типов и видов семян подсолнечника с режимом обучения с использованием ИНС. Исследовались 3D – динамические изображения сырья с ленты конвейера.



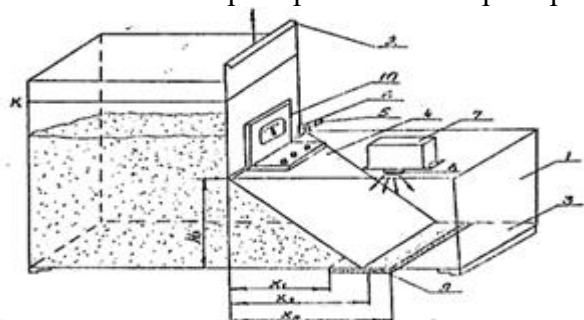
Производился учет информации, поступающей с нескольких СКЗ. Разработан функциональный блок модуля автоматического контроля внешнего вида изделий



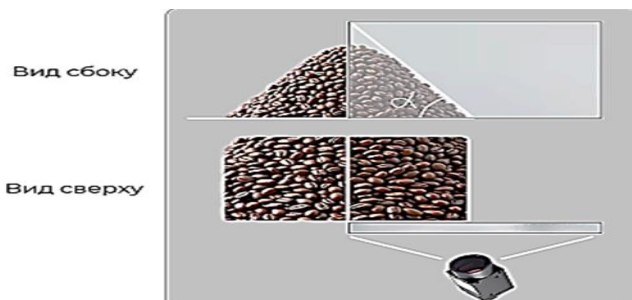
3 Методы и средства автоматического определения угла естественного откоса сыпучего сырья. Получено свидетельство Роспатента RU № 2025661081 от 29.04.2025 «Модуль расчета угла естественного откоса»

Использована СКЗ. Разработана блок-схема алгоритма работы прибора для АК угла естественного откоса сыпучих пищевых масс, на основе которого изготовлен макет прибора и проведены исследования, показавшие его работоспособность.

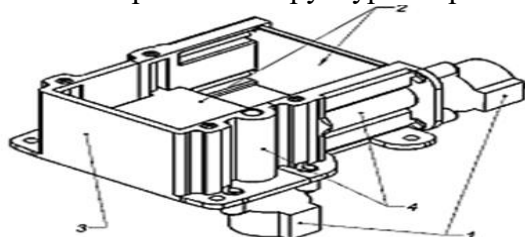
Макет прибора



Пример контроля угла естественного откоса какао бобов



Разработана структура и прототип цифрового прибора, работающего в потоке

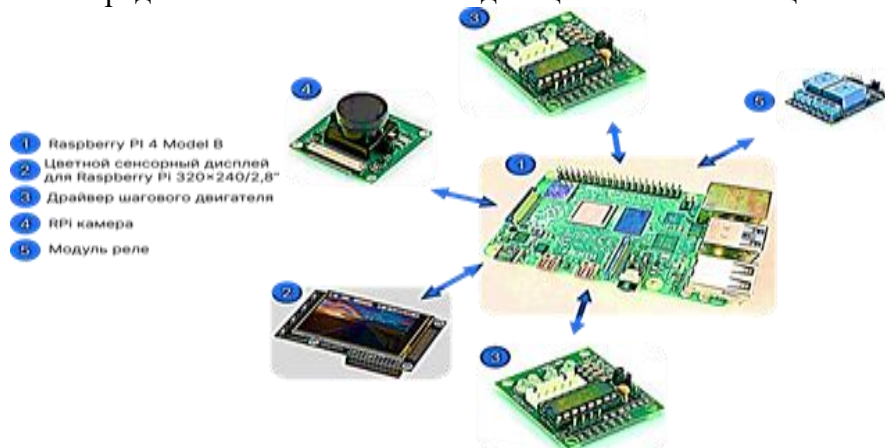


Первичный преобразователь



Блок индикации и автоматизации

Представлен состав блока индикации и автоматизации



Алгоритм работы цифрового прибора



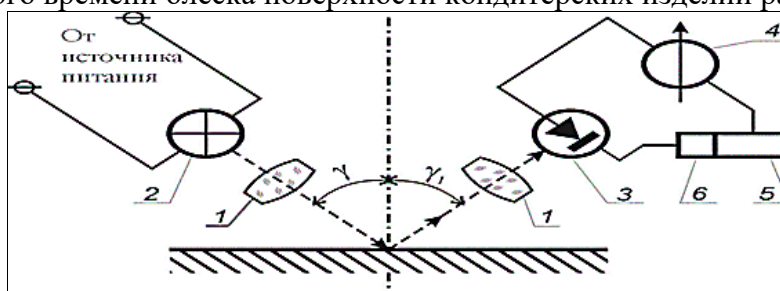
Проведены экспериментальные исследования, показавшие работоспособность данного прибора для автоматического определения угла естественного откоса в режиме реального времени на производстве.

4 Методы и средства анализа блеска поверхности кондитерских изделий. Получен патент на изобретение «Способ и устройство для Фурье-анализа светопропускающих сред» RU 2770415 C1, 15.04.2022.

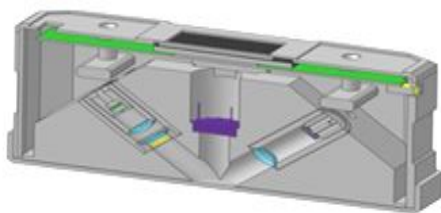
Использовали: СКЗ, фотоэлектрический метод, методы математического моделирования оптической системы.



Разработана принципиальная схема фотоэлектрического датчика автоматического контроля в режиме реального времени блеска поверхности кондитерских изделий разной геометрии.



Получены данные математического моделирования оптической системы, исходя из которых была рассчитана осветительная система. Смоделирована 3D модель датчика автоматического контроля блеска покрытий кондитерских изделий.



сборочная 3D модель
датчика блеска в разрезе

5 Методы и средства автоматического определения формы и количества кондитерских изделий на транспортере Получено свидетельство Роспатента RU № 2025613322 от 11 февраля 2025 г. «Конструктор внешнего вида и формы кондитерских изделий»

Для разработки были использованы: СКЗ, НСТ, микропроцессорный датчик технического зрения ZFV; интеллектуальный датчик F160; СКЗ F210; скоростная СКЗ F250; устройства считывания двумерного кода V400 и V530-R160, язык программирования Python и его библиотека ПО OpenCV. Для тестирования нейронной сети, в качестве примера, было взято изображение плитки пористого шоколада

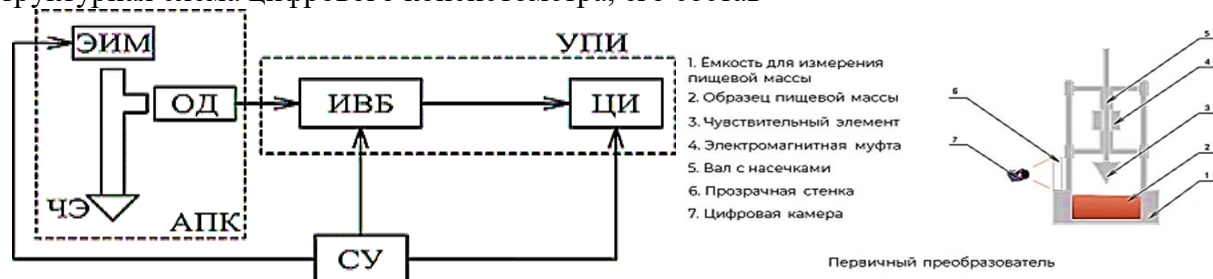


Обработав данное изображение библиотекой OpenCV, получили выходное изображение с выделенными значениями длины и ширины плитки шоколада



- 6 Методы и средства автоматического определения консистенции и текстуры кондитерского изделия. Получено 2 свидетельства Роспатента: «Модуль расчета консистенции с фиксированным таймингом» (свидетельство № 2025614754 от 25 февраля 2025 г.) и «Модуль машинного зрения для расчета консистенции (свидетельство № 2025615894 от 11 марта 2025 г.).

Использовали информационные технологии и цифровую оценку консистенции. Разработана структурная схема цифрового консистометра, его состав



Алгоритм работы цифрового консистометра

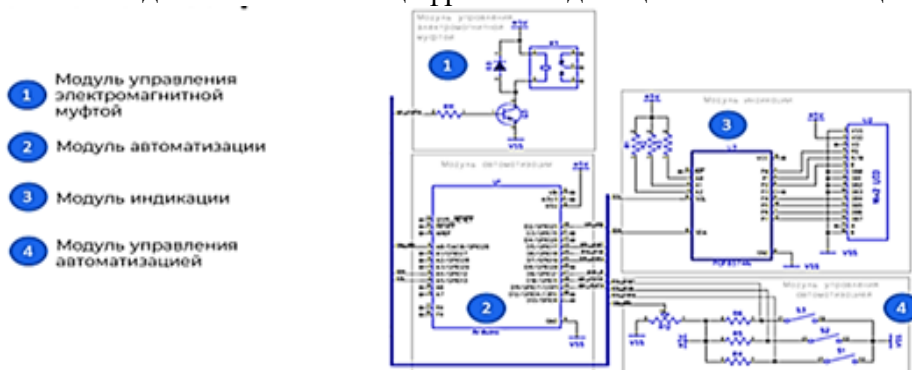


Изготовлен макет цифрового консистометра



Проведены экспериментальные исследования, показавшие его работоспособность

Схема подключений блока цифровой индикации и автоматизации



Изготовлен прототип консистометра и проведены экспериментальные исследования его работоспособности



Внешний вид прототипа датчика консистенции и блока автоматизации
Разработано программное взаимодействие нескольких консистометров для реализации сетевой архитектуры с использованием Интернет технологий



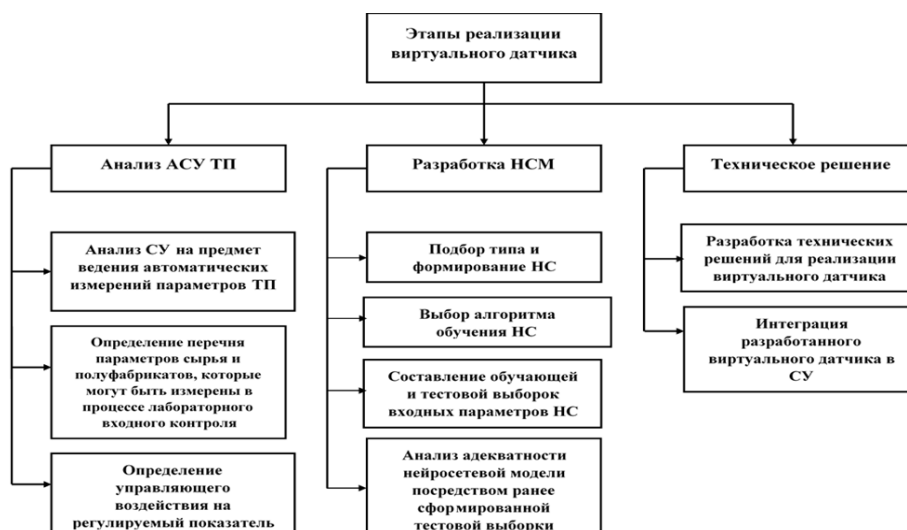
7 Методы и средства автоматического определения вкуса. Получено свидетельство Роспатента RU № 2025682461 от 22.08.2025 «Модуль расчета оценки вкуса кондитерских изделий на производстве». Использованы ИНС



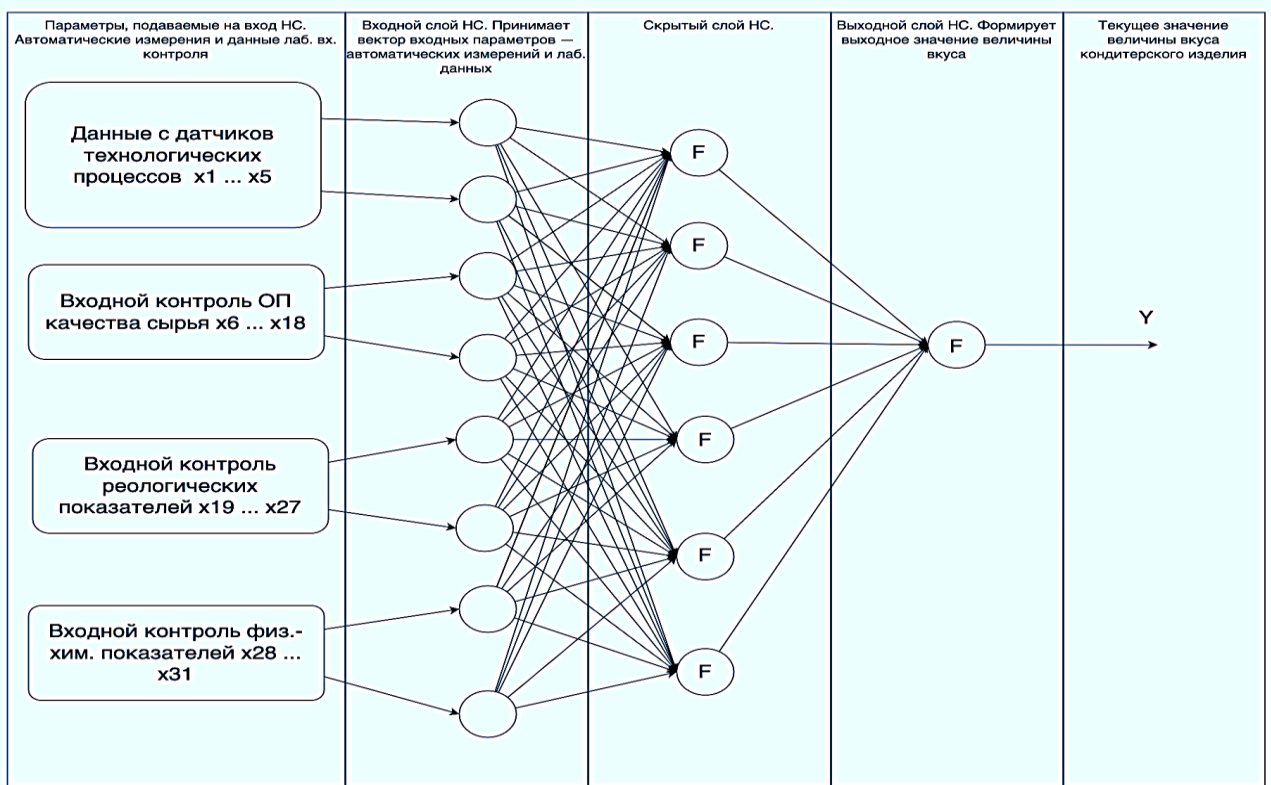
Модель автоматизации определения вкуса

$$\bar{Y} = F(\bar{X}_{tec}, \bar{X}_{lab}, \bar{X}_{qual}); \bar{X}_{qual} = \text{const}; \bar{Y} = F(\bar{X}_{tec}, \bar{X}_{lab}),$$

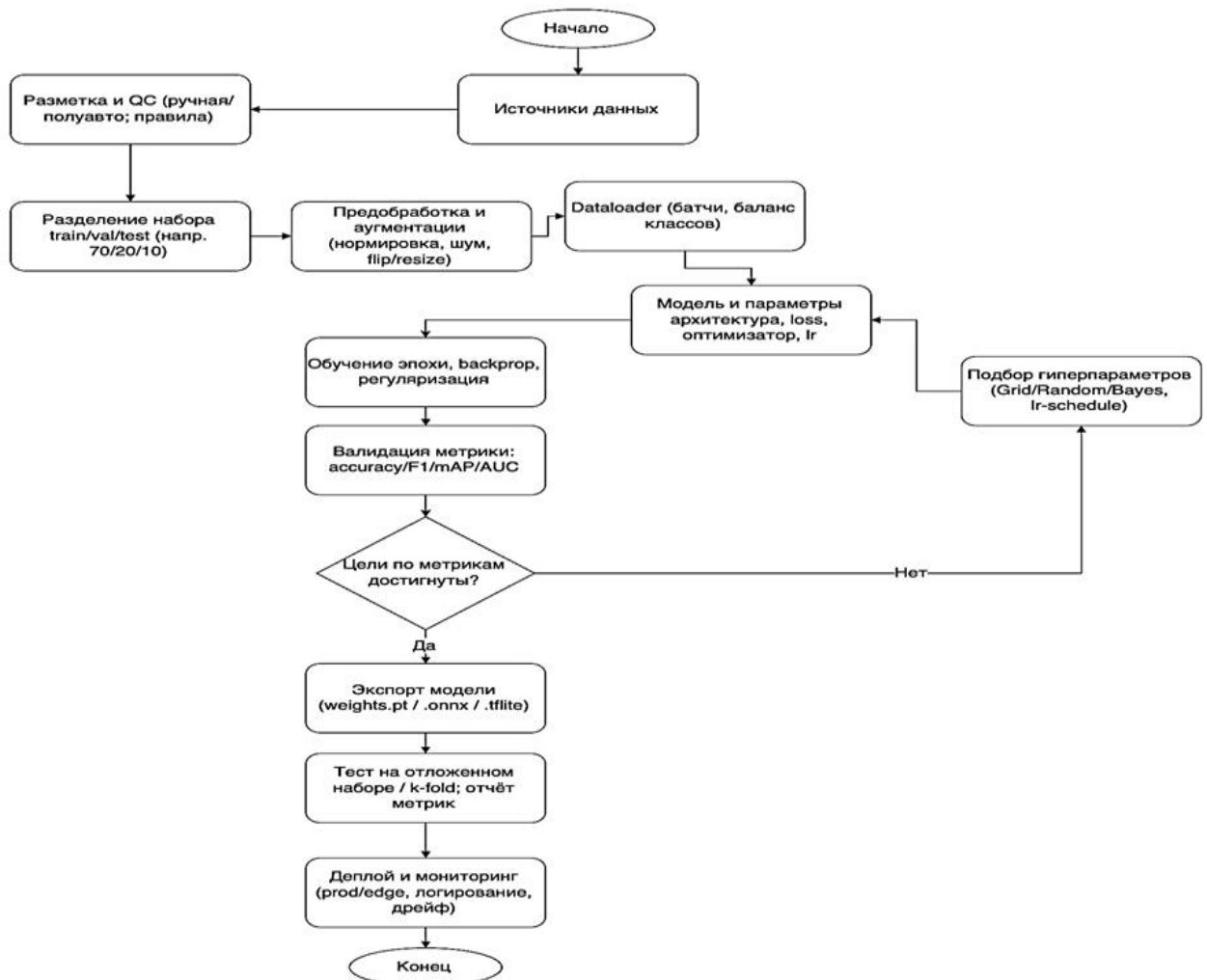
где \bar{X}_{tec} – входной вектор параметров ТП производства кондитерских изделий;
 \bar{X}_{lab} – входной вектор качества сырья, полученных экспертами в лабораториях;
 \bar{X}_{qual} – входной вектор показатели качества сырья и полуфабрикатов.



Стадии построения виртуального датчика автоматического контроля вкуса

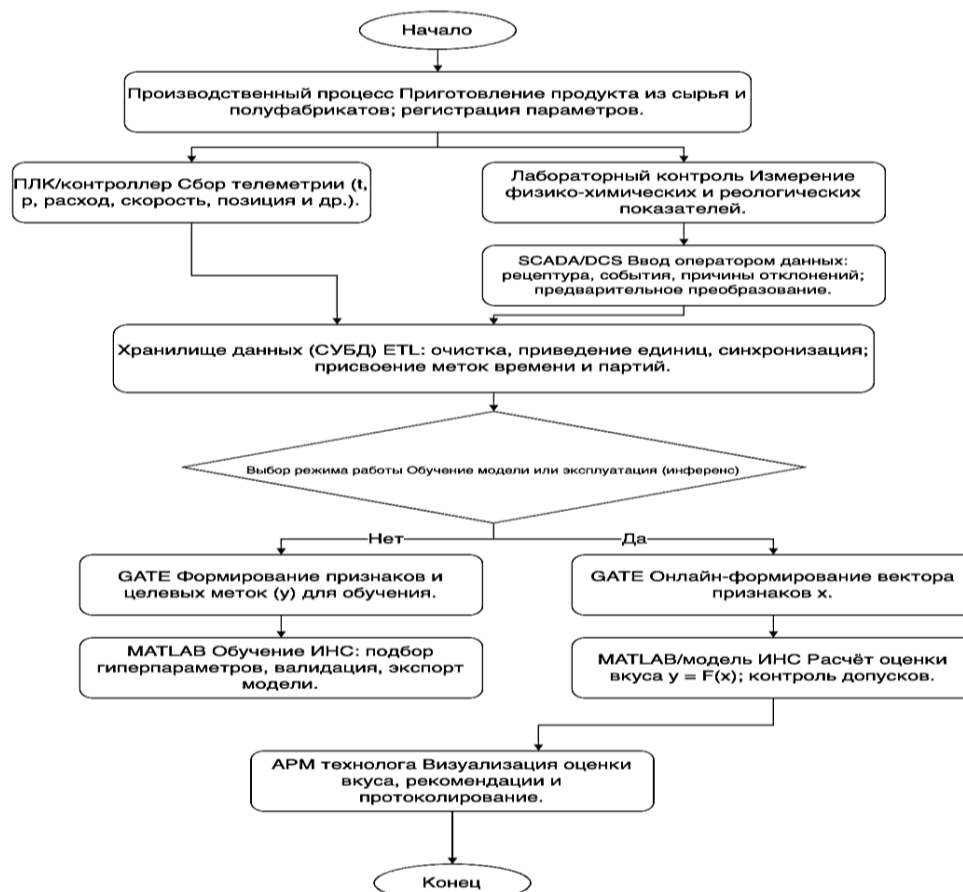


Многослойные НС прямого распространения



Процесс обучения нейронной сети

Процедура работы программно-аппаратного комплекса (ПАК) автоматического контроля в потоке вкуса кондитерской продукции (КП)



8 Методы и средства автоматического определения запаха. Получено свидетельство Роспатента RU № 2025683407 от 03.09.2025 «Программный модуль расчета для оценки запаха кондитерских изделий»

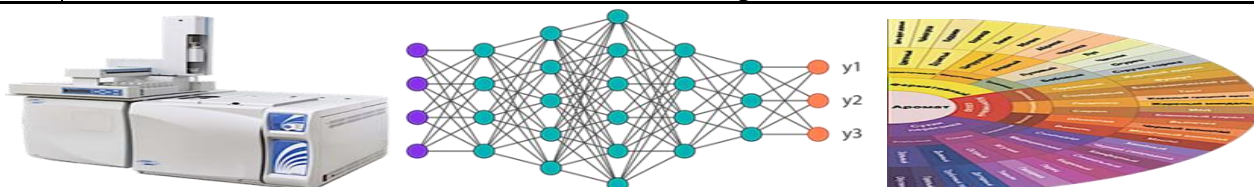
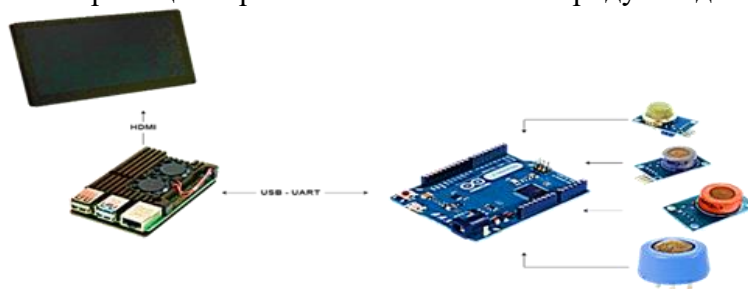


Схема автоматического контроля запаха КП с использованием НСТ

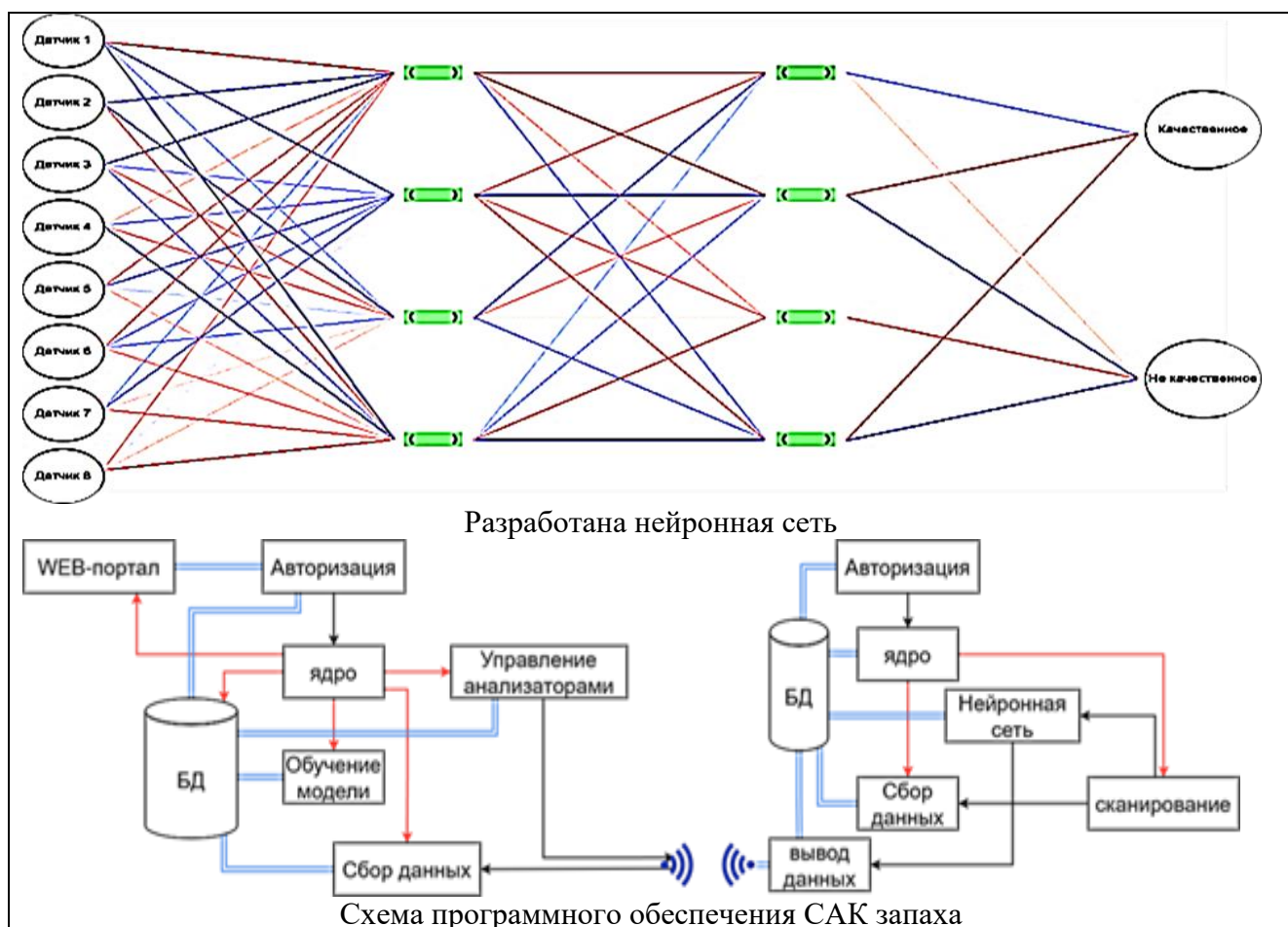
Модель системы автоматического контроля (САК) запаха разделена на два устройства: сервер и анализатор.



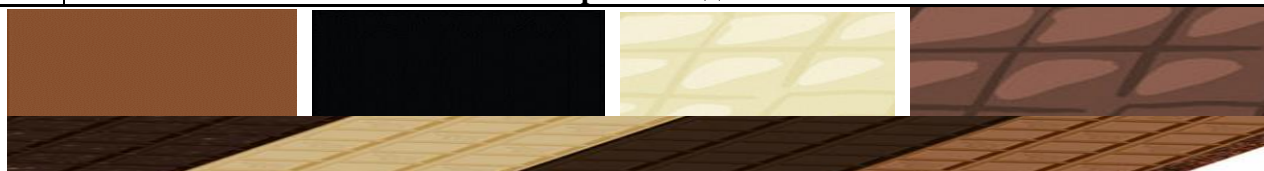
Сервер САК Анализатор стационарный или мобильный. Продукты для исследований



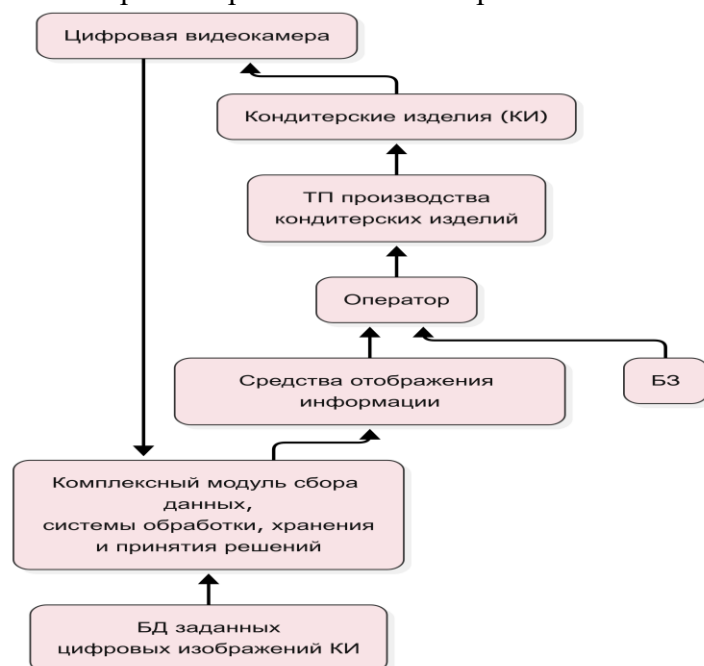
Аппаратная схема интеллектуального анализатора запаха.



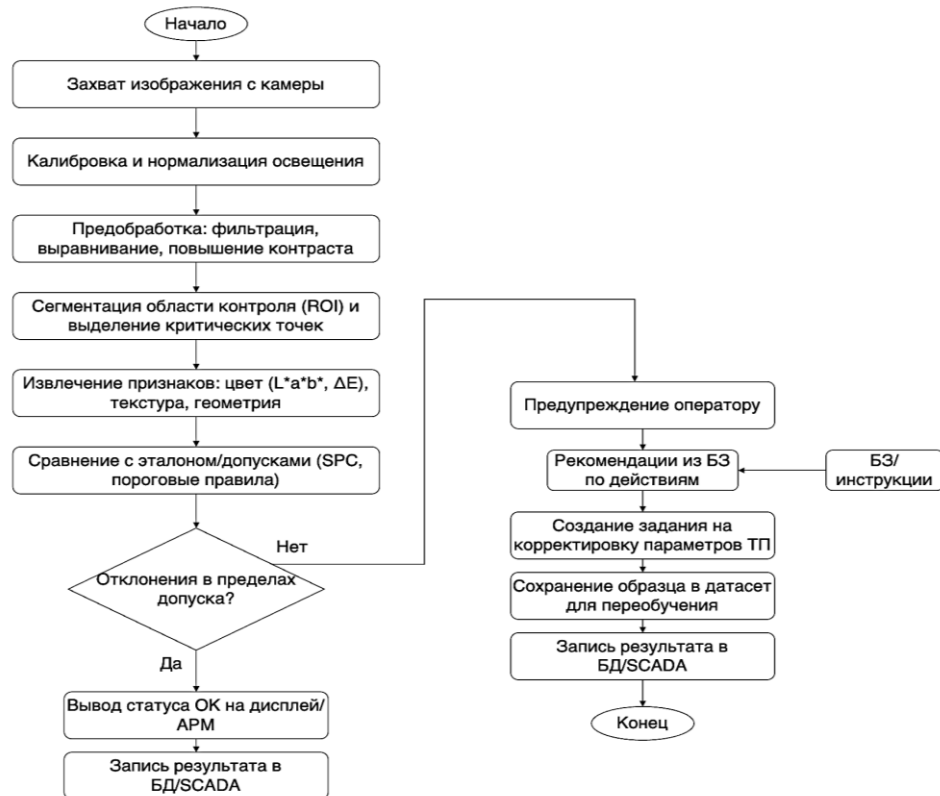
9 Методы и средства автоматического определения цвета. Получено свидетельство Роспатента RU № 202566321 от 25.06.2025 «Программа для оценки цвета кондитерских изделий»



Датасет фотографий ассортимента шоколада различного цвета разработан алгоритм обработки этих изображений и их классификация

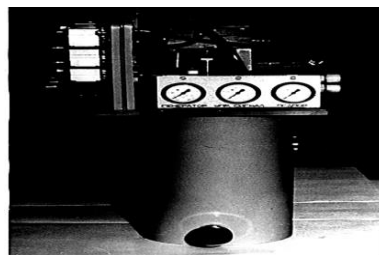
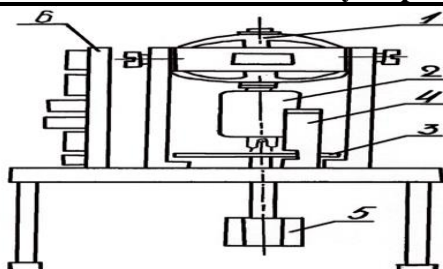


Структура ПАК АК цвета кондитерских изделий

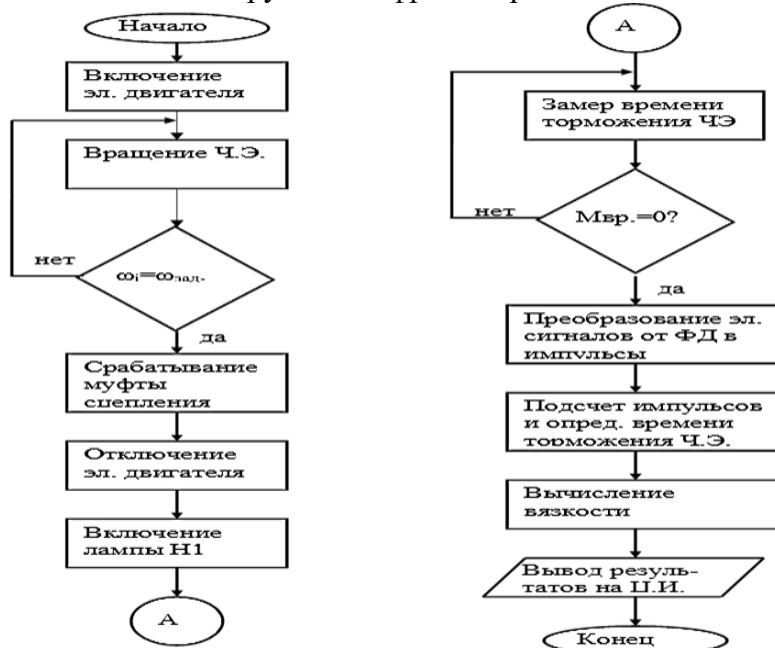


Блок - схема алгоритма принятия решения на соответствие цвета кондитерских изделий эталонному значению

9 Методы и средства автоматического определения вязкости. Получено свидетельство Роспатента RU № 2025662616 от 22.05.2025
«Модуль расчета вязкости»



Разработана схема конструкции цифрового ротационного вискозиметра

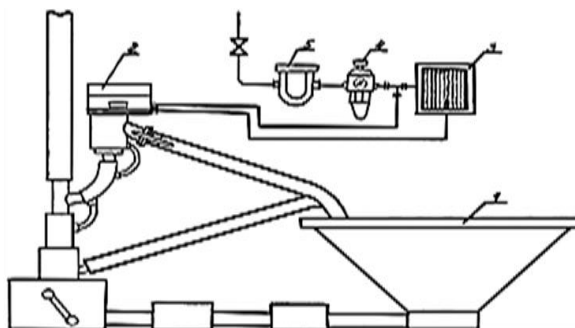


Блок-схема алгоритма работы цифрового ротационного вискозиметра



Создан макет цифрового датчика вязкости

Блок цифровой индикации



Пример схемы установки автоматического вискозиметра на temperирующей машине
1 – temperирующая машина, 2 – вискозиметр, 3 – блок индикации



Возможности датчиков вязкости на базе интернета вещей, работающих в режиме реального времени на линиях производства кондитерской продукции



. Структура вискозиметра с коммуникационными модулями

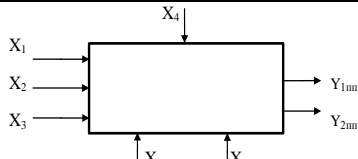
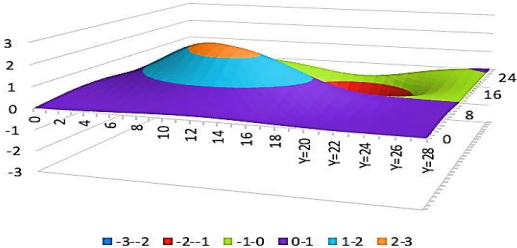
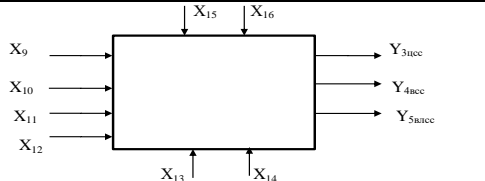
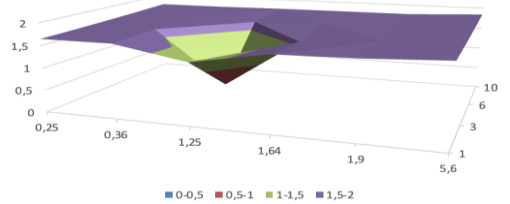
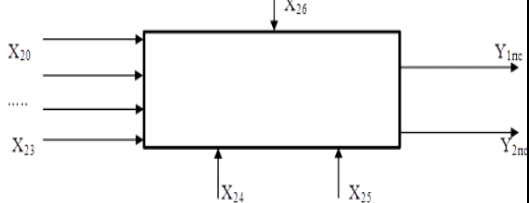
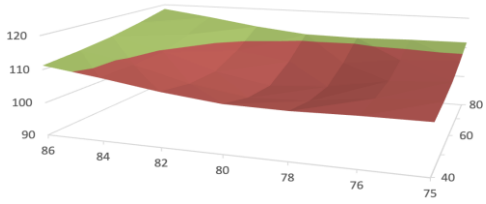

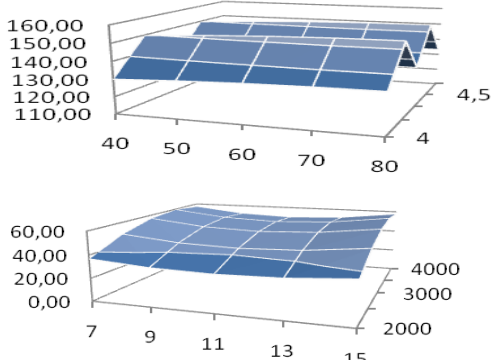
Создание интеллектуальной системы автоматического контроля и управления качеством кондитерской продукции в процессе производства возможно лишь при наличии соответствующих моделей, что позволит наглядно изучить влияние входных контролируемых и регулируемых параметров, возмущающих воздействий на исследуемые показатели качества на всех стадиях кондитерского производства, а также даст возможность прогнозировать ход этих ТП и определять необходимые при этом режимы работы используемого оборудования.

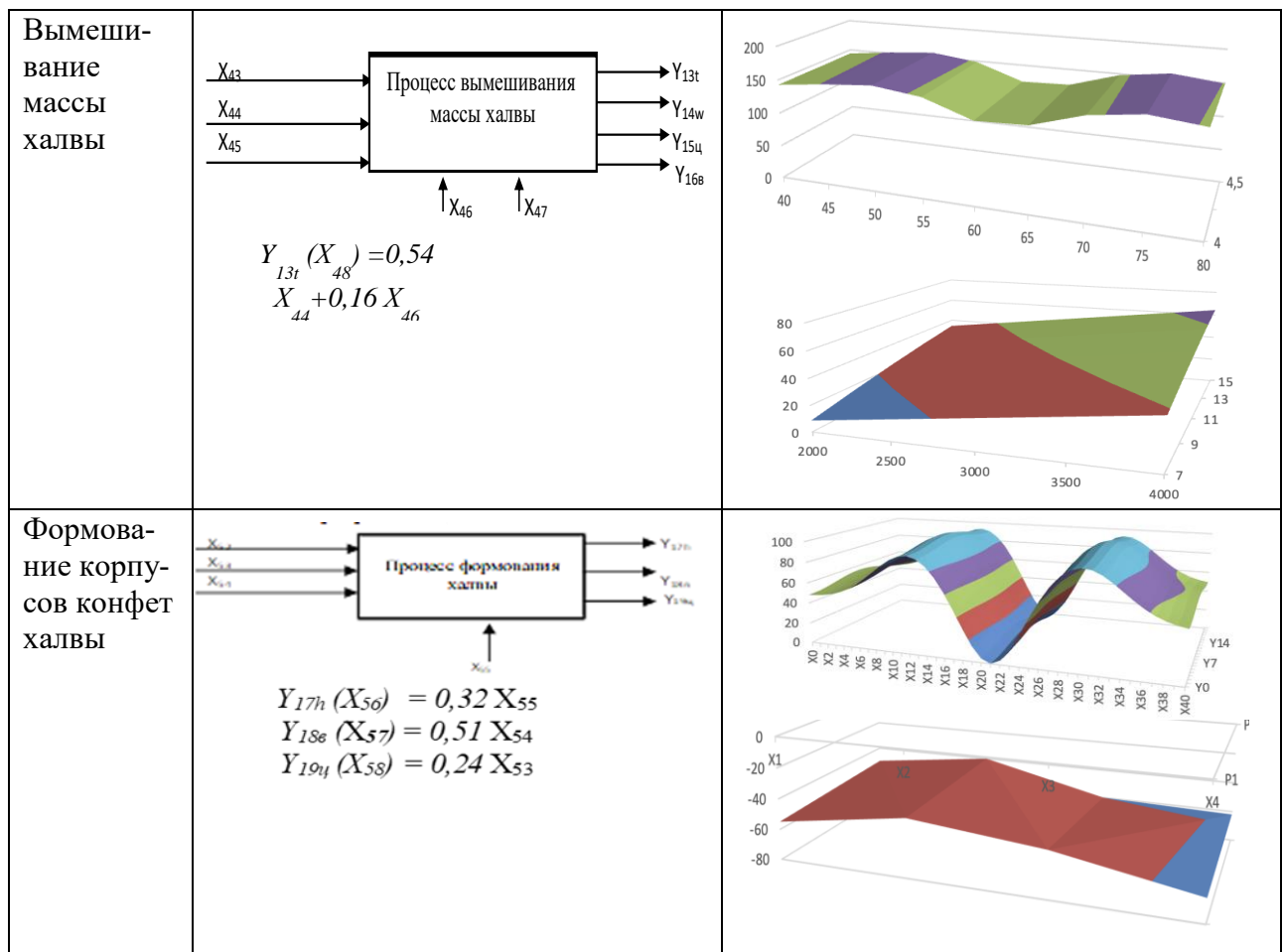
Поэтому **четвертая глава** посвящена анализу проведенных экспериментальных исследований всех этапов ТП производства кондитерской продукции

разной структуры и разработке структурно-параметрических, математических, ситуационных и имитационных моделей исследуемых процессов производства.

Представлено описание комплексных экспериментальных исследований, позволившее разработать методологию построения структурно – параметрических моделей (СПМ) основных стадий производства кондитерской продукции. На базе полученных результатов были разработаны параметрические и математические модели основных этапов ТП производства шоколада, сбивных конфет типа суфле, халвы, мармелада, карамели, зефира, козинак, драже и ириса. В таблице 3 приведен пример полученных структурно – параметрических и математических моделей основных этапов ТП производства халвы.

Таблица 3 – Параметрические и математические модели основных этапов ТП

Стадия ТП	Структурно-параметрическая и математическая модели	Пример полученных графиков
Подготовка сырья к производству халвы	 $Y_{1\text{к.изв.пр}}(X_7) = -0,43 X_2 + 0,13 X_5$ $Y_{2\text{вн.вид с.п.}}(X_8) = 0,16 X_3$	 <p>$f(X_2, X_3); X_5 = \text{const}$</p>
Приготовление сахарного сиропа	 $Y_{3\text{сcc}} = 0,18 X_{13} + 0,44 X_{14}$ $Y_{4\text{вcc}} = 0,18 X_{13} - 0,52 X_{15} - 0,64 X_{16}$ $Y_{5\text{в}} = 0,74 X_{12} + 0,82 X_{15}$	 <p>$f(X_9, X_{15}); X_7 = \text{const}$ $f(X_{10}, X_7); X_{15} = \text{const}$</p>
Приготовление карамельного сиропа	 $Y_{6\text{в}} = 0,42 X_{22} + 0,53 X_{23} + 0,48 X_{26}$ $Y_{7\text{ц}} = 0,81 X_{25} + 0,43 X_{26}$	 <p>$f(X_{20}, X_{23}); X_{25} = \text{const}$</p>
Сбивание карамельной массы	 $Y_{8\text{w}}(X_{38}) = 0,36 X_{29} + 0,87 X_{33}$ $Y_{9\text{т}}(X_{39}) = 0,31 X_{33} + 0,82 X_{35} + 0,49 X_{36}$ $Y_{10\text{м}}(X_{40}) = 0,47 X_{30} + 0,55 X_{34} + 0,73 X_{36}$ $Y_{11\text{ц}}(X_{41}) = 0,86 X_{31} + 0,52 X_{37}$ $Y_{12\text{в}}(X_{42}) = 0,56 X_{32} + 0,41 X_{34}$	



Для решения задачи автоматизации управления качеством производства кондитерской продукции необходимо также наличие ситуационных моделей, которые позволяют проследить в процессе производства влияния параметров друг на друга, прогнозировать ход исследуемых ТП и определять необходимые при этом режимы работы используемого оборудования.

На основе структурно-параметрических матриц сопоставимых взаимосвязей C_{ij} , где $i, j = 1, \dots, n$, и вектора контролируемых отклонений показателей состояния Δx_i были сформированы ситуационные модели (ситуационные матрицы) ТП производства всех исследуемых видов кондитерской продукции:

$$\begin{bmatrix} \Delta x_1, & c_{12} \Delta x_2, & \dots, & c_{1n} \Delta x_n \\ c_{21} \Delta x_1, & \Delta x_2, & \dots, & c_{2n} \Delta x_n \\ \dots, & \dots, & \dots, & \dots \\ c_{n1} \Delta x_1, & c_{n2} \Delta x_2, & \dots, & \Delta x_n \end{bmatrix}$$

где $\Delta x_i = \frac{x_i - x_i^0}{\Delta x_i^0}$ – вектор текущих относительных отклонений; x_i , x_i^0 – фактическое и эталонное значение i -го параметра; Δx_i^0 – предельно допустимое отклонение от нормы.

Процедура диагноза сводилась к нахождению причин, повлекших за собой отклонение состояния технологической системы от нормального положения путем анализа и сравнения элементов строк ситуационной матрицы с выбором максимального элемента. Алгоритм прогнозирования заключался в определении

аномального состояния системы при изменении какого-либо параметра или группы параметров процесса.

На основании оценок результатов опроса экспертов-технологов были отобраны основные информативные параметры качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий ТП производства кондитерской продукции, и составлены таблицы взаимосвязей между ними для каждой стадии исследуемого производства. Полученные данные структурно-параметрического моделирования ТП производства кондитерских изделий были сравнены с данными, полученными в результате опроса экспертов. Анализ полученных данных позволил получить ситуационные модели (СМ) ТП производства кондитерской продукции различной структуры. В таблице 4 в качестве примера представлена разработанная ситуационная модель качества халвы на основных стадиях производства в форме квадратной обобщенной матрицы функциональных взаимосвязей показателей качества этих конфет, где числовые значения, записанные обычным курсивом, показывают характер связей («+» - показывает нахождение новых связей, а символ (Ø) означает опровержение оценок эксперта).

Таблица 4 – Ситуационная модель качества производства халвы

Основные стадии ТП производства халвы	Выходные параметры	Подготовка сырья к производству		Приготовление сахарного сиропа			Приготовление карамельного сиропа		Уваривание и сбивание карамельной массы					Вымешивание халвы				Формование халвы		
		Y ₁ (X ₇)	Y ₂ (X ₈)	Y ₃ (X ₁₇)	Y ₄ (X ₁₈)	Y ₅ (X ₁₉)	Y ₆ (X ₂₇)	Y ₇ (X ₂₈)	Y ₈ (X ₃₁)	Y ₉ (X ₃₉)	Y ₁₀ (X ₄₀)	Y ₁₁ (X ₄₁)	Y ₁₂ (X ₄₂)	Y ₁₃ (X ₄₃)	Y ₁₄ (X ₄₄)	Y ₁₅ (X ₅₀)	Y ₁₆ (X ₅₁)	Y ₁₇ (X ₅₂)	Y ₁₈ (X ₅₇)	Y ₁₉ (X ₅₈)
I. Подготовка сырья к производству	Y ₁ (X ₇) - % извл. прим.	1																		
	Y ₂ (X ₈) вн. вид	Ø	1																	
II. Приготовление сахарного сиропа	Y ₃ (X ₁₇) цвет	⊕	Ø	1																
	Y ₄ (X ₁₈) вкус			Ø	1															
	Y ₅ (X ₁₉) влажность	⊕	⊕	⊕	⊕	1														
III. Приготовление карамельного сиропа	Y ₆ (X ₂₇) цвет	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	1													
	Y ₇ (X ₂₈) вкус	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	1												
IV. Уваривание и сбивание карамельной массы	Y ₈ (X ₃₁) влажность кар.м.	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	Ø	⊕	1											
	Y ₉ (X ₃₉) T						Ø	⊕	⊕	1										
	Y ₁₀ (X ₄₀) вязкость							⊕	Ø	⊕	1									
	Y ₁₁ (X ₄₁) цвет							⊕	⊕	⊕	⊕	1								
	Y ₁₂ (X ₄₂) вкус	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	Ø	1							
V. Вымешивание халвы	Y ₁₃ (X ₄₃) температура	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕		⊕	⊕	1						
	Y ₁₄ (X ₄₄) влажность	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕		⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	1					
	Y ₁₅ (X ₅₀) цвет	⊕	⊕	Ø	⊕	⊕	⊕	⊕					⊕	Ø	⊕	1				
	Y ₁₆ (X ₅₁) вкус	⊕	⊕	⊕	⊕	Ø	⊕								⊕	⊕	1			
VI. Формование халвы	Y ₁₇ (X ₅₂) высота халвы	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	Ø	⊕	⊕	⊕	1		
	Y ₁₈ (X ₅₇) вкус	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	1	
	Y ₁₉ (X ₅₈) цвет	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	Ø	⊕	⊕	⊕	1

Полученные ситуационные модели позволили проследить причинно - следственные влияния параметров друг на друга и на показатели качества готовой продукции, что позволило перейти к мультиагентному имитационному моделированию процессов производства кондитерской продукции, необходимому для решения поставленной цели - созданию ИСАКиУК кондитерской продукции в процессе ее производства. Были разработаны информационно-аналитические мультиагентные системы имитационного моделирования с помощью среды ПО

AnyLogic для идентификации линий производства кондитерской продукции. На рисунке 2 в качестве примера представлена разработанная мультиагентная имитационная модель ТП производства халвы с использованием ПО AnyLogic.

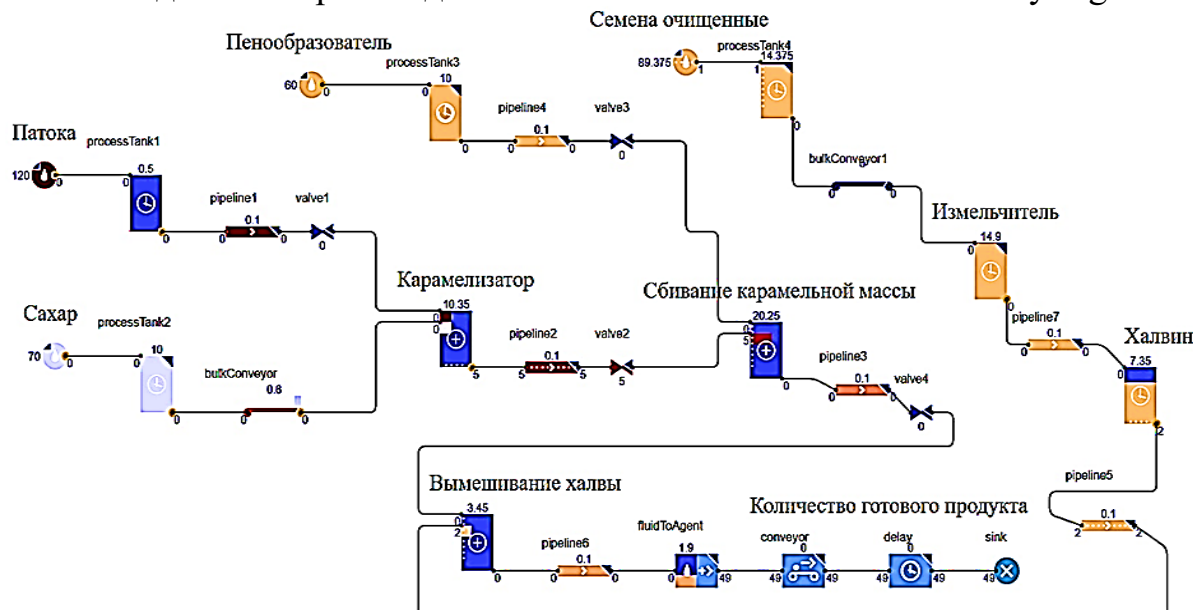


Рисунок 2 - Мультиагентная имитационная модель ТП производства халвы

На рисунке 3 представлена разработанная модель производства халвы в виде двумерной графики.

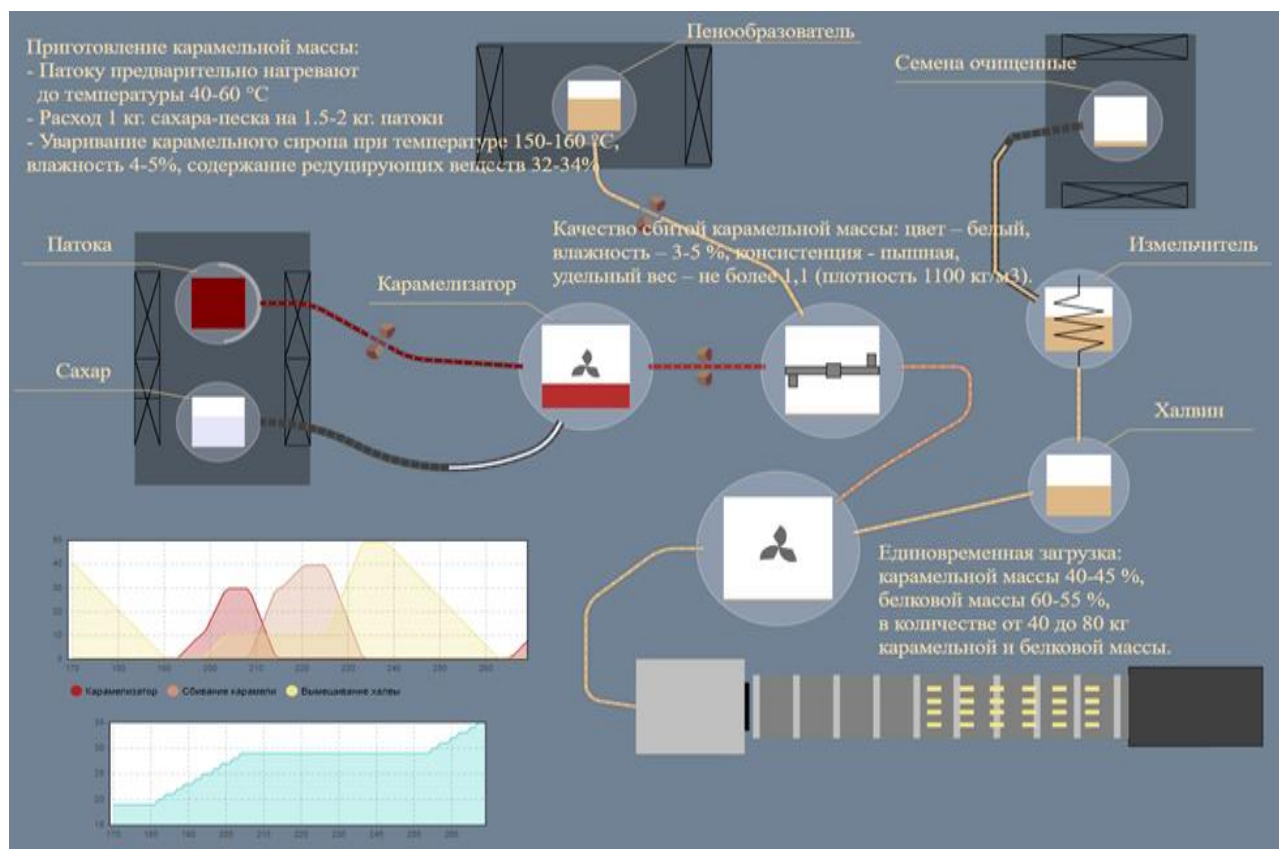


Рисунок 3 - Модель производства халвы в формате двумерной графики

В качестве еще одного примера на рисунке 4 показана построенная мультиагентная имитационная модель ТП приготовления мармеладных конфет, позволяющая более детально проанализировать существующее производство.

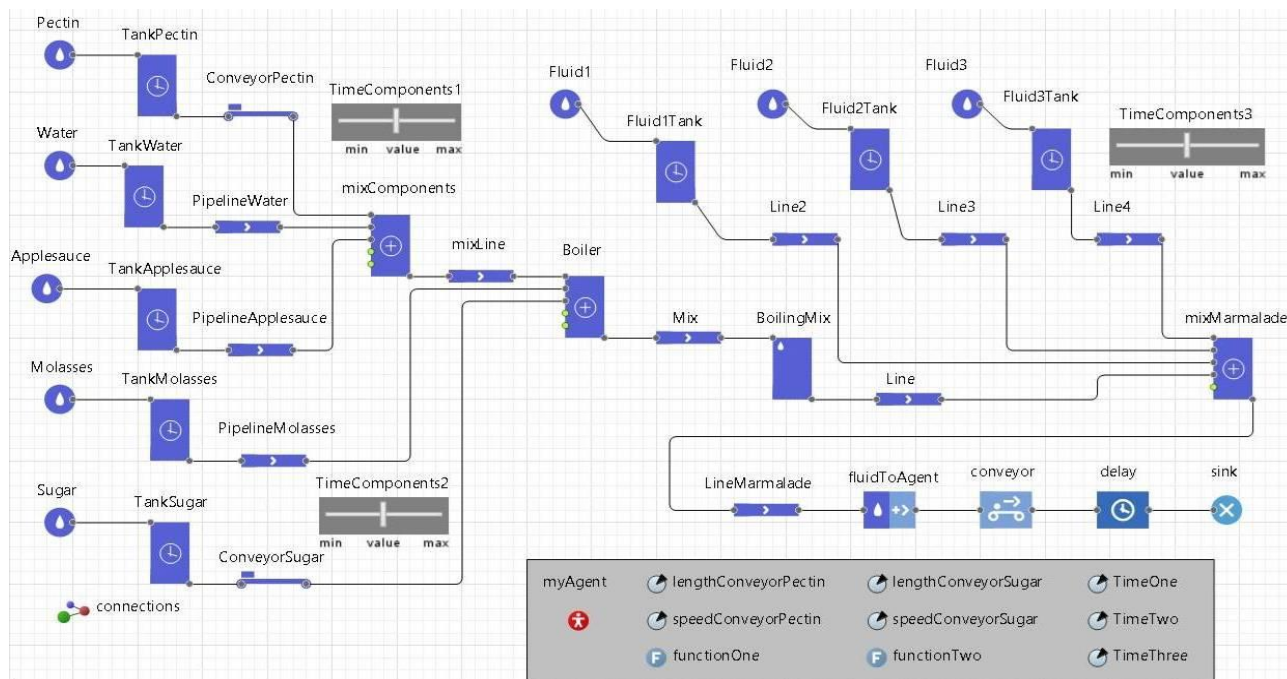


Рисунок 4 - Мультиагентная имитационная модель процесса производства мармеладных конфет

Модель производства мармеладных конфет в формате двумерной графики представлена на рисунке 5.

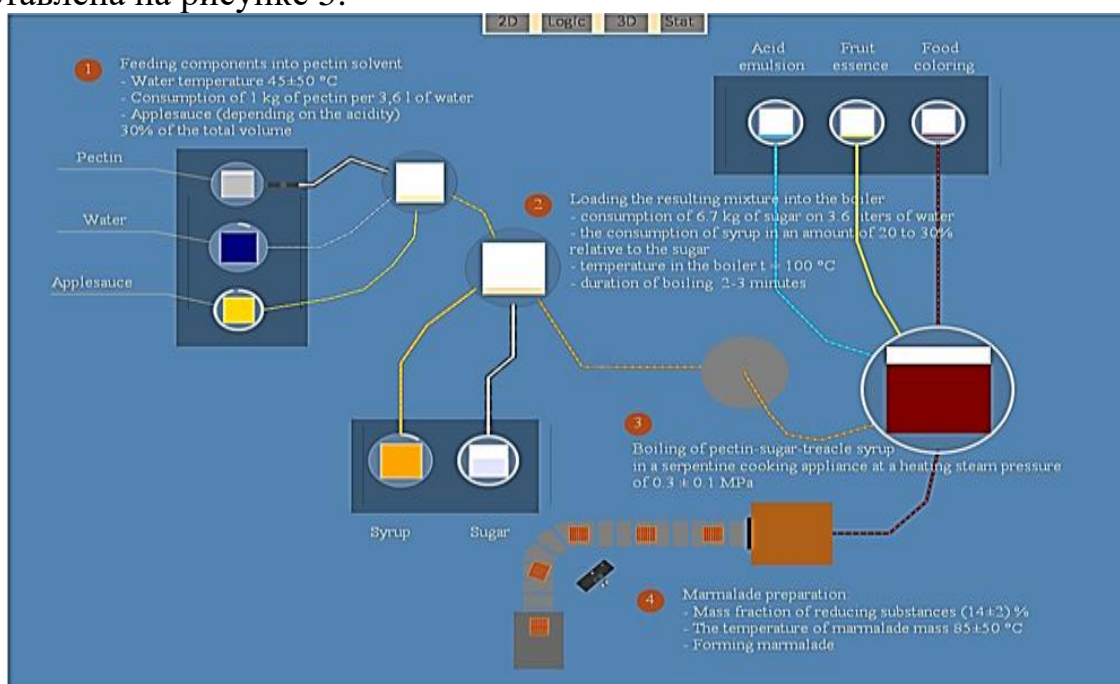


Рисунок 5 - Модель производства мармелада в формате двумерной графики

На базе полученных имитационных моделей производства кондитерских изделий разной структуры были проведены эксперименты, направленные на их виртуальное тестирование для повышения эффективности исследуемых производственных процессов.

Проведенные нами исследования с использованием методов мультиагентного имитационного моделирования и ПО AnyLogic позволили спрогнозировать оптимальные выходные параметры исследуемых процессов производства кондитерской продукции, что, безусловно, позволяет повысить эффективность исследуемых процессов. Полученные результаты моделирования процессов производства кондитерской продукции могут быть использованы также для

анализа актуальности выбранного технологического оборудования, оптимизации технологических и режимных параметров, влияющих на ход производства исследуемой продукции, оценки эффективности реализации имеющихся ресурсов, рентабельности и издержек производства.

Разработанные в данной главе модели являются основой создания и активного использования цифровых двойников производства кондитерской продукции, что позволяет перейти к цифровизации кондитерской промышленности.

Пятая глава посвящена методике автоматизации создания цифровых двойников производства кондитерской продукции разной структуры. В рамках данной главы представлены задачи, которые способны решать цифровые двойники (ЦД). Показаны возможности использования ЦД в кондитерской промышленности. Проведен анализ проблем разработки и использования в кондитерской промышленности ЦД. Представлены основные подходы их создания и использования в ТП производства кондитерских изделий на разных этапах их жизненного цикла. Показано место ЦД в цифровизации кондитерской промышленности, продемонстрированы наиболее эффективные технологии их разработки.

Предложены научные основы автоматизации создания ЦД производства кондитерских изделий. Показана общая схема исследований по разработке ЦД производства кондитерских изделий. На рисунке 6 представлена V-образная диаграмма создания ЦД качества кондитерской продукции.

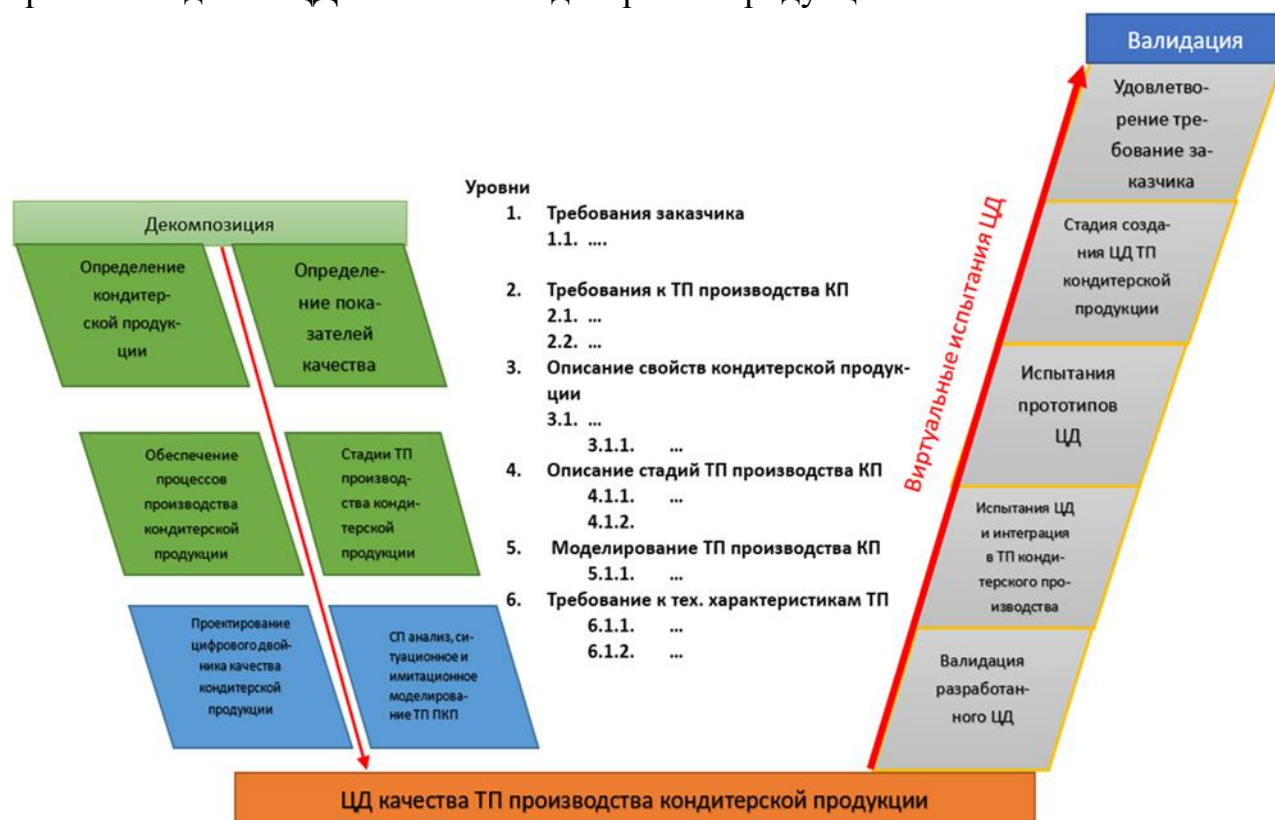


Рисунок 6 - V-образная диаграмма создания ЦД качества кондитерской продукции

На рисунке 7 представлена схема валидации разработанных моделей ЦД ТП производства кондитерских изделий.

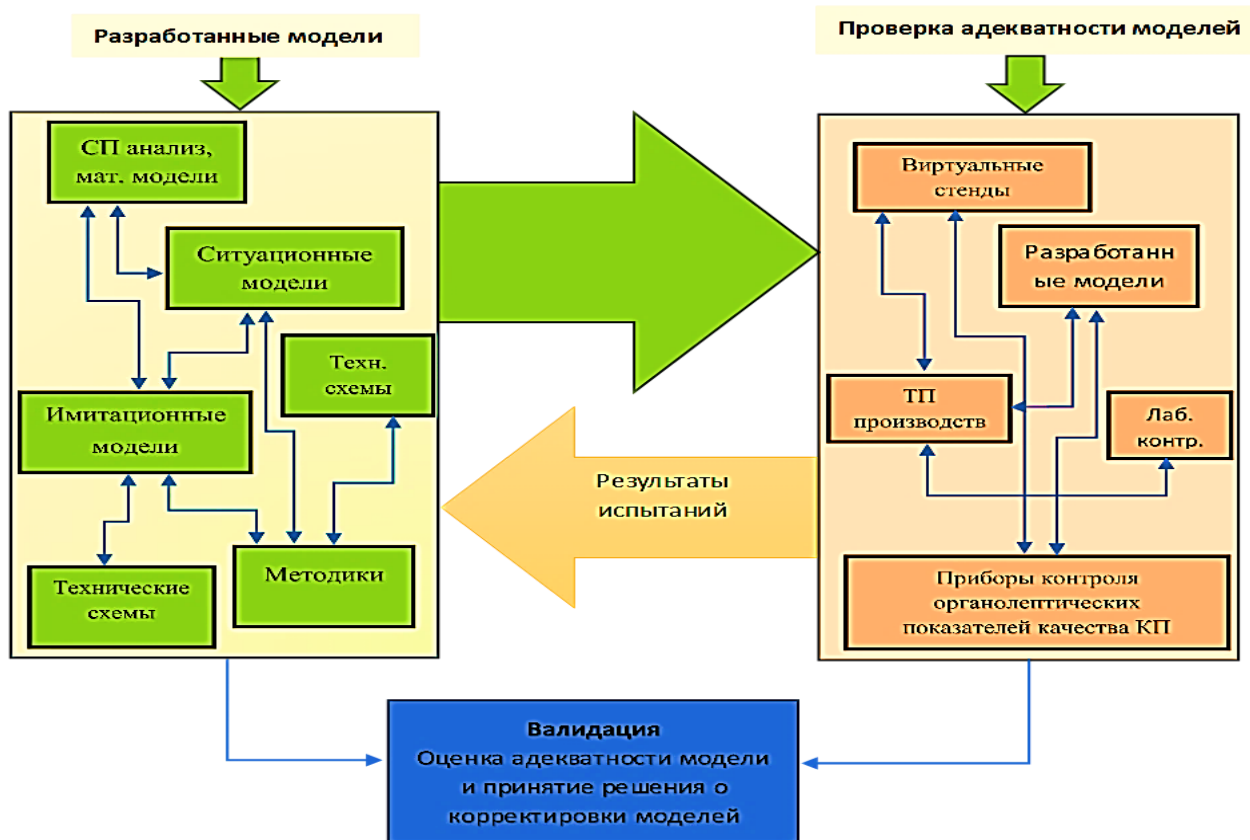


Рисунок 7 - Схема валидации разработанных моделей ЦД ТП производства кондитерских изделий

В рамках данной главы был разработан и реализован цифровой двойник производства шоколада, представленный на рисунке 8.

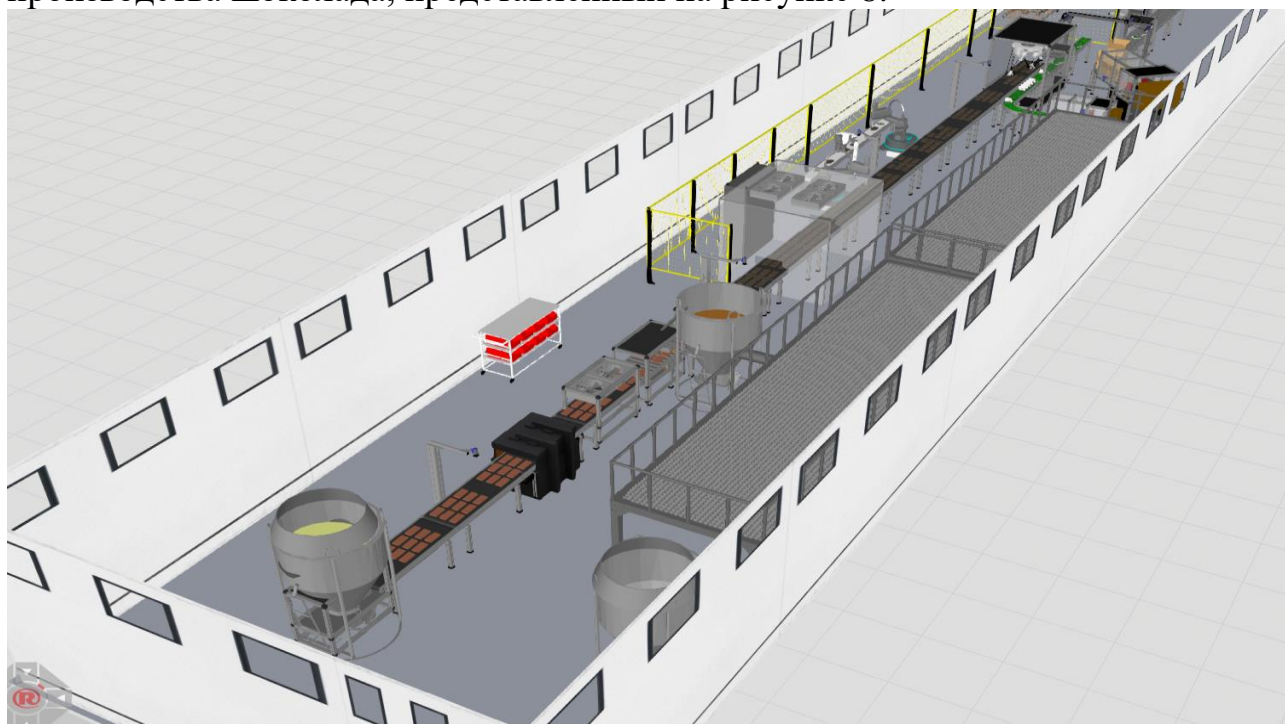


Рисунок 8 - Цифровой двойник ТП производства шоколада

На примере линии производства шоколада показано применение разработанного комплекса инструментальных средств для создания ЦД процессов производства любой кондитерской продукции. Для описания ЦД в рамках единой технологической системы была использована разработанная и обученная

нейронная сеть YOLO, применяемая для автоматического распознавания качества готовых изделий, работающая на базе данных, полученных из цифровой симуляции производственного процесса. Исходными данными для создания ЦД стали параметры реального ТП и оборудования, входящего в линию производства шоколада, а также стандартные показатели качества для шоколада и шоколадных изделий. Результаты работы ЦД с использованием системы компьютерного зрения (СКЗ) и нейронной сети Yolo представлены на рисунке 9.



Рисунок 9 - Результаты работы СКЗ и нейронной сети Yolo

В шестой главе показана возможность использования технологий виртуальной, дополненной реальностей и кастомизации для автоматизации создания оригинальной персонализированной кондитерской продукции нового поколения.

Проанализировано современное использование технологий виртуальной, дополненной реальностей и кастомизации в отраслях кондитерской промышленности. Показано, что применение этих технологий отражает общий тренд цифровизации кондитерской промышленности по переходу к персонализированному потреблению продукции нового поколения. Эти инновации не только способствуют цифровизации отрасли, но и создают новые возможности для выражения индивидуальности и предпочтений потребителей, делая каждый продукт по настоящему уникальным, оригинальным и запоминающимся.

Предложены основные этапы автоматизации создания оригинальных кондитерских изделий. Потребитель может самостоятельно менять форму изделия, внешний вид, цвет и вкус начинки - одной или более, выбирать украшения изделия, а также упаковку создаваемых новых конфет. Разработаны основные этапы создания цифровых трехмерных моделей новых конфет, помогающие определить ключевые элементы дизайна нового изделия, такие как форма, размер, текстура и цвет конечного продукта.

Осуществлен выбор программного обеспечения для 3D-моделирования трехмерных моделей конфет. На этом этапе предлагается использование для дизайна таких программ, как Autodesk 3ds Max, Maya или Blender. Исследованы возможные варианты создания платформы для автоматической кастомизации формы, цвета и текстуры кондитерских изделий. Приведены примеры и описаны действия такой платформы по автоматическому генерированию подбора формы, начинки, декоративных украшений, цвета, текстуры и упаковки новых кондитерских изделий. Получено свидетельство Роспатента о государственной регистра-

ции программы для ЭВМ RU № 2025613322 от 11.02.2025. Заявка № 2025611139 от 24.01.2025 «Конструктор внешнего вида и формы кондитерских изделий».

Исследована структура работы фреймворка django и его особенности при создании базы данных и веб-приложения данной системы. На основе проведенного анализа осуществлен выбор кроссплатформенной БД SQLite. Разработана ER-диаграмма, иллюстрирующая структуру связей базы данных для облачной платформы хранения и редактирования трехмерных моделей новых конфет. Разработана реляционная база данных для создания облачной платформы хранения и редактирования трехмерных моделей конфет. Предложена система управления разработанной базой данных (СУБД).

Разработана облачная платформа для хранения и редактирования трехмерных моделей новых кондитерских изделий. Разработан интерфейс платформы, позволяющий легко переходить от одной операции к другой. Разработанная облачная платформа может быть интегрирована с различными CAD-программами и системами управления производством. Предлагаемая облачная платформа опирается на разработанные нами технические средства, которые позволяют решить поставленные технические задачи, являются доступными и имеют доступное программное обеспечение.

На основе HTML, CSS и Python кода подготовлен веб-сайт, представленный на рисунке 10, позволяющий создавать оригинальные персонализированные кондитерские изделия нового поколения.

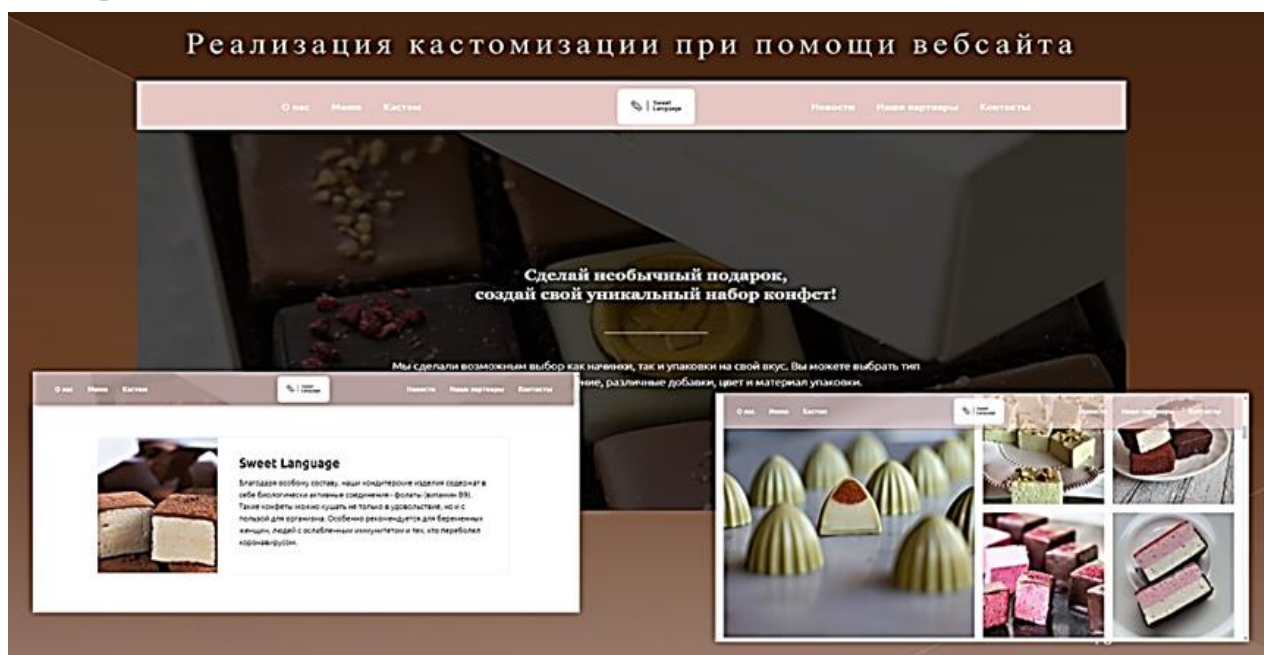


Рисунок 10 - Дизайн главных страниц веб-сайта

Разработано информативное Веб-приложение для удобства пользователей, представленное на рисунке 11, который дополнен информативным и легко доступным контентом и инструкцией для потребителя. Представлены ключевые функции такого приложения. Раскрыты тенденции кастомизации кондитерской индустрии в будущем.

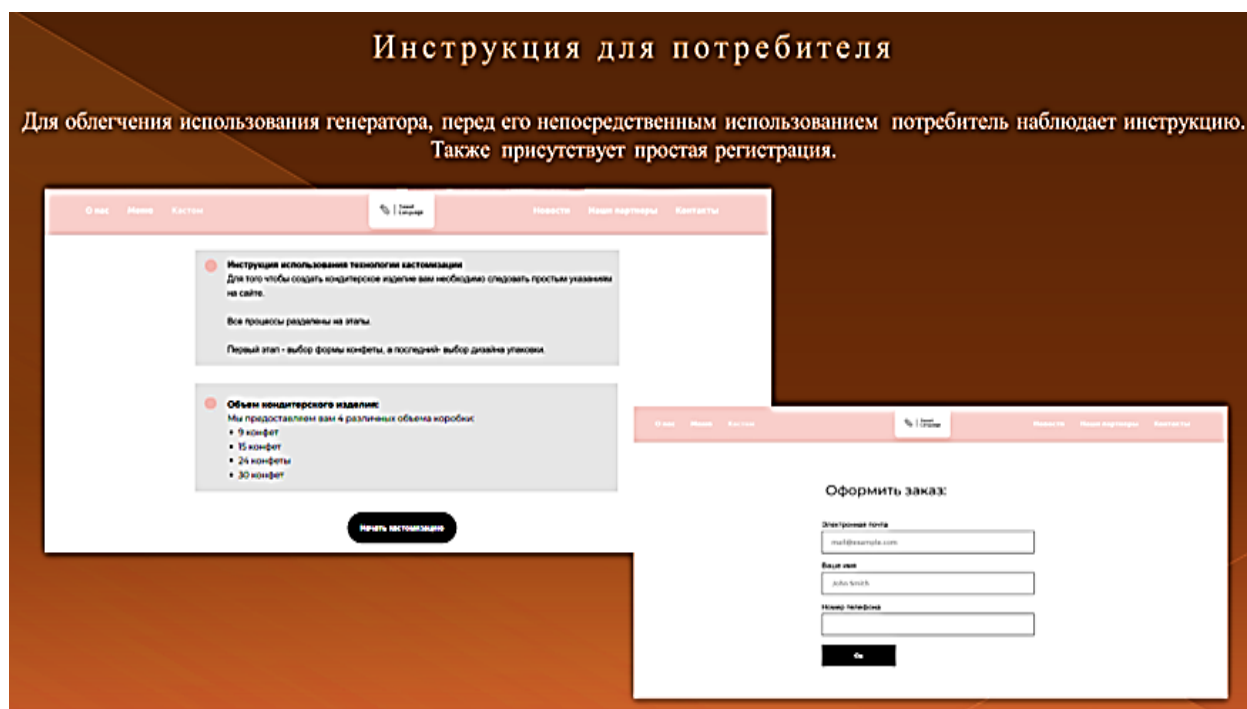


Рисунок 11 - Информативное Веб-приложение для продвижения изделий

В седьмой главе представлена концепция создания интеллектуальной системы автоматического контроля и управления качеством (ИСАКиУК) кондитерской продукции, разработаны основные виды обеспечения этой системы и показаны технические решения для ее реализации.

Описаны основные задачи и разработаны общие требования к создаваемой системе. Предложены основные этапы ее реализации. На основании проведенных исследований разработана обобщенная функциональная структура ИСАКиУК кондитерской продукции, представленная на рисунке 12.

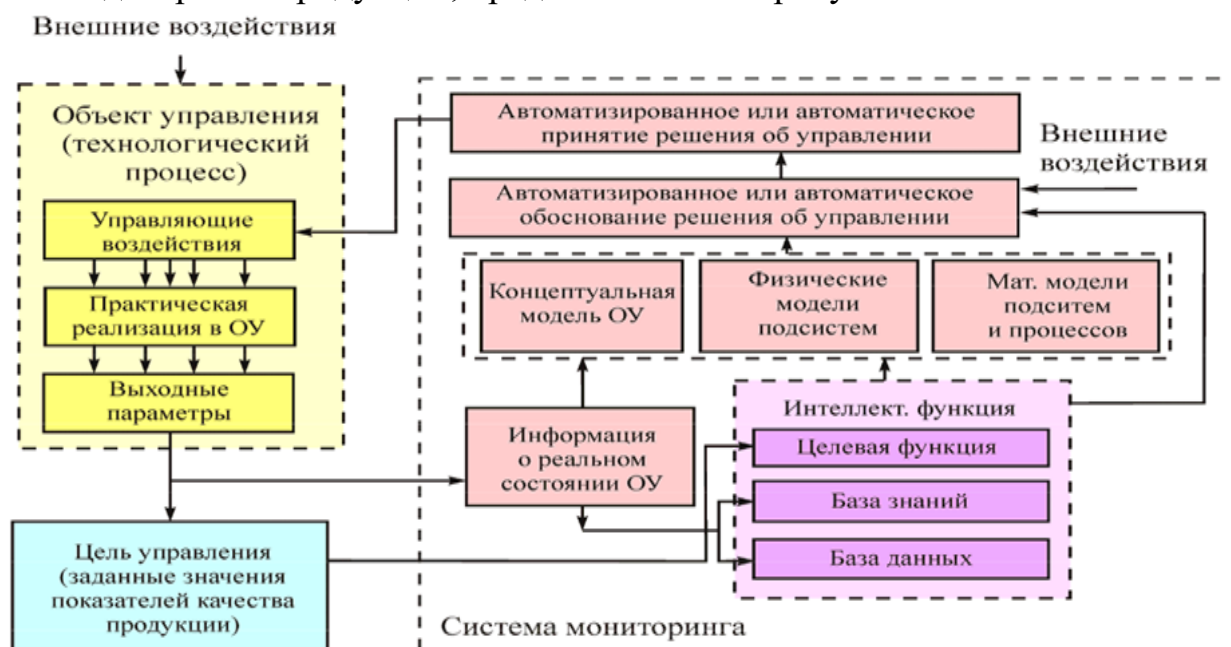


Рисунок 12 - Обобщенная функциональная структура ИСАКиУК кондитерской продукции

Изложены подробные шаги по этапам реализации ИСАКиУК. Разработаны основные виды ее обеспечения: информационное, математическое и программное. Схема работы ИАСКиУК кондитерской продукции представлена на рисунке 13.



Рисунок 13 - Схема работы ИСАКиУК кондитерской продукции

На основании анализа результатов проведенных исследований для создания ИСАКиУК качеством кондитерской продукции рекомендовано использование нейрорегулятора, выполненного на базе многослойных нейронных сетей. Осуществлен подбор необходимого для реализации системы комплекса технических средств.

В структуре ИСАКиУК для сбора информации разработана БД с модулем «Сбор информации о показателях качества, определяемых лабораторными методами». Для структурирования этой информации разработана модель – дерево целей, которая позволяет упорядочить и объединить цели в единый комплекс (рисунок 14).



Рисунок 14 - Модель-дерево целей БД ИСАКиУК кондитерской продукции

Сформирована база знаний (БЗ) ИСАКиУК кондитерских изделий и проведён выбор ее функционала. Знания в ИАСКиУК предлагается представить в виде фактов и правил. Структура базы знаний представлена на рисунке 15.

Наполнение базы знаний реализовывали на языке представления знаний системы ИНТЕР-ЭКСПЕРТ GURU средствами: автоматического извлечения знаний из БД с использованием метода прямого извлечения знаний из экспертов.

Структура базы знаний: входы → ядро → использование



Рисунок 15 - Структура базы знаний БЗ ИСАКиУК кондитерской продукции

Предложена структура динамической ИСАКиУК кондитерской продукции (рисунок 16).

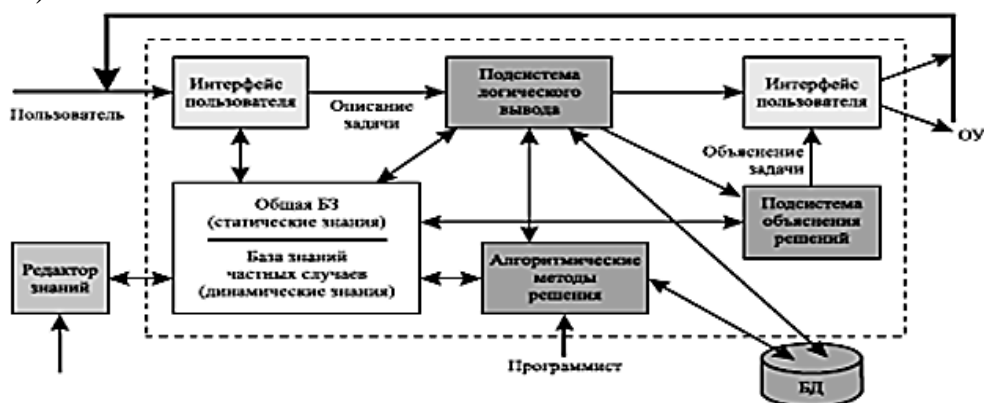


Рисунок 16 - Структура динамической ИАСКиУК кондитерской продукции

На рисунке 17 показаны основные стадии разработки ИСАКиУК.



Рисунок 17 - Основные стадии разработки динамической ИАСКиУК

Разработка динамической ИАСКиУК включает несколько основных этапов. На первом этапе происходит формирование и накопление БД объекта. Второй этап – моделирование работы нейросистемы. Третий этап – создание программных и аппаратных нейросетевых решений и эксплуатация интеллектуальной системы автоматического контроля и управления качеством кондитерской продукции. На данном этапе построенная интеллектуальная модель способна самостоятельно классифицировать поступающую в БД информацию. Связующим звеном всей системы будет библиотека задач, содержащая БЗ по полученным решениям.

Для физической реализации разработанной ИСАКиУК осуществлен подбор необходимого комплекса технических средств, позволяющих реализовать все описанные функции применительно к линиям производства кондитерской продукции. Приведены рекомендации по их подбору. Разработано специализированное ПО, состоящее из информационной части; компонента импортирования данных (интегратора) и модуля работы с искусственной нейронной сетью (ИНС). Информационная часть обеспечивает накопление, хранение и предоставления информации, а также реализует интерфейс конечного пользователя.

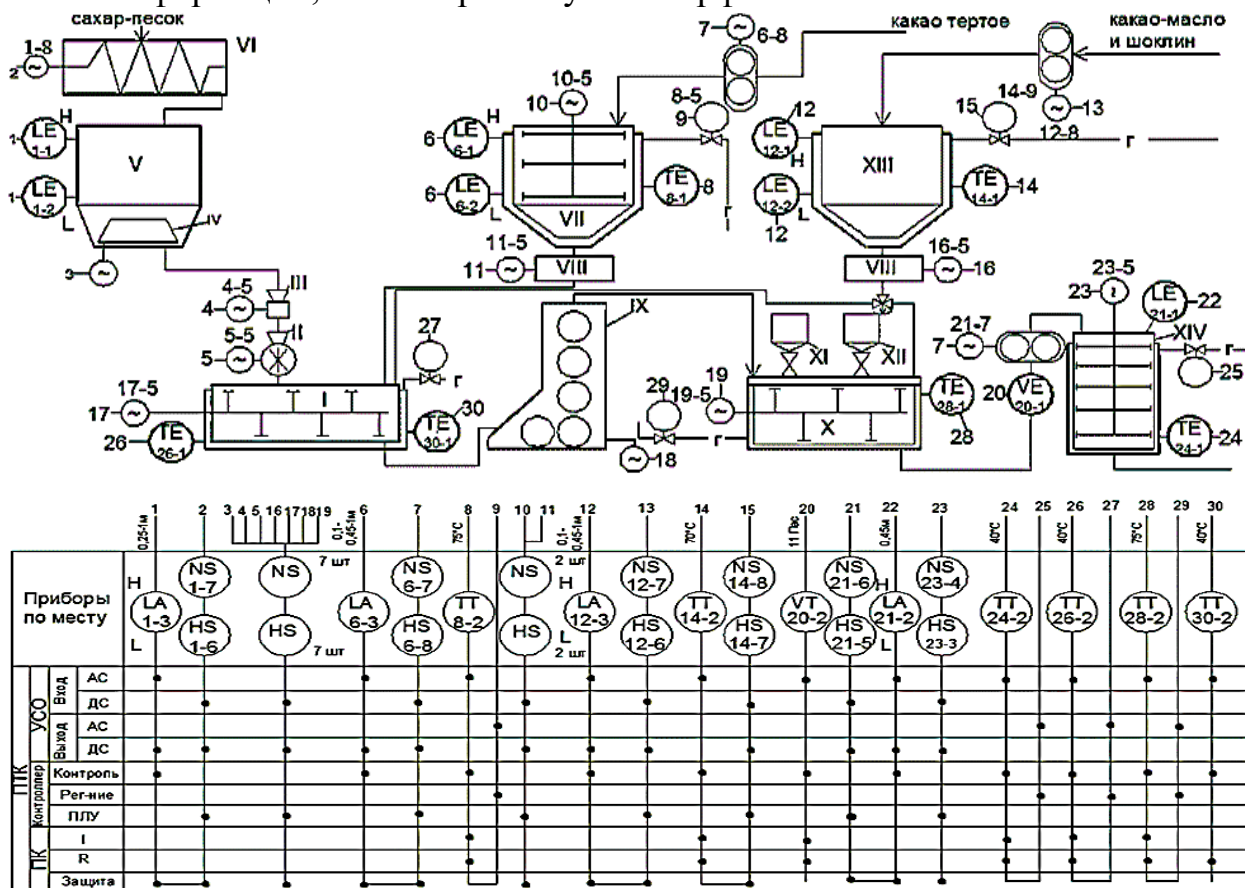


Рисунок 18 - ФСА производства шоколадных масс

Разработанная ИАСКиУК кондитерской продукции представляет собой сложную информационную систему, в составе которой, кроме специализированных модулей контроля вкуса, запаха, цвета и других органолептических показателей качества кондитерских масс, применяется комплекс предложенных универсальных инструментальных средств.

Исследованы и модернизированы функциональные схемы автоматизации (ФСА) поточных линий производства кондитерской продукции разной структу-

ры с включением в эти схемы разработанных интеллектуальных средств автоматического контроля органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий, что позволяет повысить эффективность производства кондитерских изделий, минимизировать количество брака, а также исключает дополнительные расходы и трудозатраты, повышает качество производимой кондитерской продукции.

Пример разработанной ФСА процессов производства шоколадных масс с внесением новых решений представлена на рисунке 18.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В работе решены все поставленные задачи. Основные выводы и результаты заключаются в следующем.

1. Исследованы и проанализированы ТП разнообразной по структуре кондитерской продукции как объекты автоматизации. Выявлены органолептические показатели качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий, контролируемые на каждой стадии производства. Проведены экспериментальные исследования и построены органолептические профили всех исследуемых кондитерских изделий. Проанализированы и обобщены факторы, нарушающие устойчивое функционирование производства. Предложен новый подход к автоматизации контроля и управления качеством кондитерской продукции с использованием интеллектуальных технологий.

2. Разработана структура целей диссертации, выявлен основной спектр решаемых задач, создана системная диаграмма решения проблемы, разработана концептуальная структурно- динамическая модель создания интеллектуальной системы автоматического контроля и управления качеством (ИСАКиУК) кондитерской продукции различной структуры в процессе производства.

3. Проанализированы различные высокоэффективные интеллектуальные технологий для решения поставленных в работе задач. Выявлены и предложены методы, алгоритмы и технологии искусственного интеллекта для их использования при разработке интеллектуальной системы автоматического контроля и управления (ИСАКиУ) качеством кондитерской продукции.

4. Разработана методология автоматизации контроля в режиме реального времени основных органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий. Созданы методы, способы, алгоритмы, математическое и программное обеспечение этих средств автоматического контроля. На этой базе разработано новое поколение интеллектуальных средств автоматизации контроля органолептических показателей качества сырья и готовой продукции в потоке: (коэффициент извлечения примесей; угол естественного откоса сыпучих масс; вкус; запах; цвет, внешний вид, размер изделия, состояние поверхности готовых кондитерских изделий, в том числе блеск поверхности, а также консистенция и вязкость). Получены: 1 патент на изобретение, 10 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ, 2 свидетельства о регистрации базы данных.

5. Разработаны структурно- параметрические, математические, ситуационные и имитационные модели основных этапов ТП производства кондитерской продукции различной структуры для моделирования, прогнозирования и управления качеством на всех стадиях производства.

6. На этой основе разработаны методологические основы автоматизации создания цифровых двойников процессов производства кондитерских изделий с формированием необходимых для их реализации инструментальных средств.

7. Предложены методологические основы автоматизации создания новой линейки оригинальной персонализированной кондитерской продукции нового поколения с использованием разработанных интеллектуальных средств автоматического контроля и управления.

8. Разработана концепция создания ИАСКиУК кондитерской продукции. Создан комплекс методов, алгоритмов, моделей и программ, обеспечивающих работу предложенной нейросетевой ИАСКиУК кондитерской продукции. Разработана типовая интеллектуальная система автоматического контроля и управления качеством кондитерской продукции.

9. Разработаны основные виды обеспечения ИАСКиУК: информационное, математическое и программное. Представлены технические решения для реализации системы. Осуществлен подбор технических средств для данной интеллектуальной системы.

10. Представлены модифицированные ФСА процессов производства кондитерской продукции разной структуры с включением в эти схемы разработанных интеллектуальных средств автоматического контроля органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий. Предложены схемы интеграции существующих АСУТП с новыми решениями оптимизационных задач на основе разработанных средств контроля и управления для внедрения в линии производства кондитерской продукции.

11. Проведена производственная проверка результатов исследования на промышленном оборудовании линий по производству кондитерской продукции на кондитерских фабриках Холдинга «Объединенные кондитеры». Разработанные методы, способы, алгоритмы и программы прошли апробацию и внедрены также в НИИ, профильные фирмы и в учебные процессы кафедр «Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами» РОСБИОТЕХ и «Промышленная информатика» Института искусственного интеллекта «МИРЭА - Российский технологический университет». Имеются акты внедрения.

Основные научные публикации по теме диссертационного исследования

Учебные пособия, монографии

1. **Благовещенский, В.Г.** Базы данных: учебное пособие / В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский. – Курск: Издательство ЗАО «Университетская книга», 2025. - 194 с. ISBN 978-5-00261-178-2

2. Благовещенский, И.Г. Нейронные сети в информационно – управляющих системах: учебное пособие / И.Г. Благовещенский, **В.Г. Благовещенский**. – Курск: Издательство ЗАО «Университетская книга», 2025. - 291 с. ISBN 978-5-00261-120-1

3. **Благовещенский, В.Г.** Методологические основы автоматизации контроля органолептических показателей качества кондитерской продукции и создание на их базе интеллектуальных систем управления: монография / В.Г. Благовещенский. – Курск: Издательство ЗАО "Университетская книга", 2024. – 422 с. ISBN 978-5-907857-40-7

4. Благовещенский, И.Г. Разработка моделей, методов и алгоритмов интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кефира: монография / И. Г. Благо-

вещенский, **В. Г. Благовещенский**, Л. А. Крылова, М. М. Благовещенская. – Курск: Издательство ЗАО "Университетская книга", 2023. – 216 с. ISBN 978-5-907776-06-7

5. **Благовещенский, В.Г.** Интеллектуальная автоматизированная система управления качеством халвы с использованием гибридных методов и технологий: монография / В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский. – Курск: Издательство ЗАО "Университетская книга", 2022. – 211 с. ISBN 978-5-907586-48-2

Статьи, опубликованные в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

6. **Благовещенский, В.Г.** Автоматизация контроля запаха кондитерской продукции с использованием искусственных нейронных сетей / В.Г. Благовещенский // Научно-технический вестник Поволжья. - 2025. - № 3. С. 77-82.

7. **Благовещенский, В.Г.** Использование искусственной нейронной сети YOLO в задаче автоматического распознавания бракованных кондитерских изделий / В.Г. Благовещенский // Научно-технический вестник Поволжья. - 2024. - № 10. С. 96-100.

8. **Благовещенский, В.Г.** Разработка новой линейки персонализированной кондитерской продукции с использованием технологий кастомизации / В.Г. Благовещенский // Научно-технический вестник Поволжья. - 2024. - № 12. С. 225 - 228.

9. **Благовещенский, В.Г.** Оптимизация пищевых производств с использованием технологий виртуальной, дополненной реальностей и инструментов Кайдзен / В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский, В.А. Холопов, А.Е. Яблоков, М.М. Благовещенская // Научно-технический вестник Поволжья. - 2024. - № 12. С. 229-233.

10. **Благовещенский, В.Г.** Обучение работников ручной сборке изделий с использованием интерактивного сопровождения и машинного зрения / В.Г. Благовещенский, М.М. Клягин, В.А. Серебрянкин // Автоматизация. Современные технологии. - 2024. Т. 78. - № 4. С. 188-192. DOI: 10.36652/0869-4931-2024-78-4-188-192

11. Рылов, С.А. Концепция разработки ротационных вискозиметров на базе технологий промышленного интернета вещей / С.А. Рылов, И.В. Кротов, М.М. Благовещенская, **В.Г. Благовещенский**, И.Г. Благовещенский, А.Е. Яблоков // Хранение и переработка сельхозсырья. - 2024. - № 4. С. 70 - 83. DDI: 10.36107/spfp.2024.4.453

12. Веселов, М.В. Использование предприятиями кондитерской промышленности искусственных нейронных сетей в производстве пористого шоколада / М.В. Веселов, М.М. Благовещенская, А.Е. Яблоков, И.Г. Благовещенский, **В.Г. Благовещенский**, В.А. Холопов // Научно-технический вестник Поволжья. - 2024. - № 12. С. 234-236.

13. **Благовещенский, В.Г.** Адаптивное управление нестационарными процессами хранения семян подсолнечника на основе использования интеллектуальных технологий / В.Г. Благовещенский, П.М. Шкапов, И.Г. Благовещенский, И.В. Кротов, С.А. Мокрушин // Научно-технический вестник Поволжья. - 2024. - № 11. С. 89-93.

14. Яблоков, А.Е. Технология искусственных нейронных сетей в задаче интеллектуальной онлайн- диагностики технологического оборудования пищевой отрасли / А.Е. Яблоков, М.А. Латышев, М.М. Благовещенская, **В.Г. Благовещенский**, А.В. Кайченков // Научно-технический вестник Поволжья. - 2024. - № 10. С. 139-142.

15. Шатунов, Д.В. Описание системы автоматизации технологического процесса розлива воды с использованием стандарта AUTOMATION MARKUP LANGUAGE / Д.В. Шатунов, С.А. Рылов, В.А. Холопов, **В.Г. Благовещенский** // Приборы. - 2024. - № 6 (288). С. 39-48.

16. Рылов, С.А. Протокол DDS как единая среда передачи данных в режиме реального времени / С.А. Рылов, С.В. Макаров, **В.Г. Благовещенский**, И.Ю. Зайцев // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. - 2024. Т. 71. - № 3 (56). С. 89-99. DOI: 10.22314/2658-4859-2024-71-3-89-99

17. Мокрушин, С.А. Введение алгоритма диагностики аварийных ситуаций в систему автоматизированного управления процессом стерилизации консервов / С.А. Мокрушин, И.Г. Благовещенский, М.М. Благовещенская, С.И. Охапкин, **В.Г. Благовещенский** // Хранение и переработка сельхозсырья. - 2024. - № 1. С. 108-119. DOI:10.36107/spfp.2024.1.415
18. Краснов, А.Е. Волновая сеть для распознавания изображений / А.Е. Краснов, М.Е. Головкин, Д.Н. Никольский, **В.Г. Благовещенский** // Автоматизация в промышленности. - 2022. - № 10. С. 28-33. DOI: 10.25728/avtprom.2022.10.06
19. Благовещенский, И.Г. Повышение эффективности технологических процессов на основе современных методов моделирования и оптимизации / И.Г. Благовещенский, М.Ю. Музыка, **В.Г. Благовещенский**, В.В. Головин, П.М. Шкапов // Инженерный журнал: наука и инновации. - 2022. - № 5 (125). С. 146-156.
20. Благовещенский, И.Г. Адаптивная система управления с идентификатором нестационарными процессами производства / И.Г. Благовещенский, **В.Г. Благовещенский**, П.М. Шкапов, А.С. Носенко, А.М. Аднодворцев // Инженерный журнал: наука и инновации. - 2022. - № 5 (125). С. 162-169.
21. Музыка, М.Ю. Интеллектуальный модуль- дегустатор для прогнозирования вкуса кефира / М.Ю. Музыка, И.Г. Благовещенский, М.М. Благовещенская, А.В. Бунеев, **В.Г. Благовещенский** // Хранение и переработка сельхозсырья. - 2022. - № 1. С. 173-193. DOI: 10.36107/spfp.2022.241
22. Музыка, М.Ю. Оценка возможности использования системы технического зрения для контроля маркировки готовой молочной продукции / М.Ю. Музыка, М.М. Благовещенская, И.Г. Благовещенский, А.М. Аднодворцев, **В.Г. Благовещенский**, А.В. Бунеев // Хранение и переработка сельхозсырья. - 2021. - № 4. С. 187-205. DOI: 10.36107/spfp.2021.265
23. Музыка, М.Ю. Использование методов имитационного моделирования для анализа функционирования процессов производства кефира / М.Ю. Музыка, И.Г. Благовещенский, **В.Г. Благовещенский**, С.А. Мокрушин, М.М. Благовещенская // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. - 2021. Т. 83.- № 4 (90). С. 17-24. DOI: 10.20914/2310-1202-2021-4-17-24
24. Музыка, М.Ю. Технические решения для реализации программно- аппаратного комплекса управления качеством пищевой продукции / М.Ю. Музыка, И.Г. Благовещенский, **В.Г. Благовещенский**, В.В. Головин, М.М. Благовещенская, И.А. Качура // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. - 2021. Т. 83. - № 4 (90). С. 49-56. DOI: 10.20914/2310-1202-2021-4-49-56
25. **Благовещенский, В.Г.** Применение нейросетевых технологий для управления качеством кондитерских изделий в процессе производства / В.Г. Благовещенский, А.Е. Краснов, Е.И. Баженов, М.М. Благовещенская, С.А. Мокрушин // Системы управления и информационные технологии. - 2021. - № 3 (85). С. 37-41. DOI: 10.36622/VSTU.2021.85.3.007
26. **Благовещенский, В.Г.** Разработка структурно- параметрической, математической и ситуационной моделей сепарирования семян подсолнечника / В.Г. Благовещенский, А.Е. Краснов, И.Г. Благовещенский, М.Ю. Музыка, В.В. Головин, М.М. Благовещенская // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. - 2021. - № 3 (49). С. 30-37. DOI: 10.17586/2310-1164-2021-14-3-30-37
27. Благовещенский, И.Г. Интеллектуальный анализ данных для систем поддержки принятия решений диагностики процессов производства пищевой продукции. В цифровизации агропромышленного комплекса / И.Г. Благовещенский, **В.Г. Благовещенский**, Е.А. Назойкин, А.Н. Петряков // Казанская наука. - 2020. Т. 1. С. 105.
28. Хамед Э.М.Т. Контроль качества розлива и маркировки пищевых продуктов с использованием интеллектуальных технологий / Э.М.Т. Хамед, И.Г. Благовещенский, **В.Г. Благовещен-**

ский, Д.В. Зубов // Health, Food & Biotechnology. - 2020. Т. 2.- № 1. С. 112-127. DOI: 10.36107/hfb.2020.i1.s2

29. **Благовещенский В.Г.** Определение эффективности процесса сепарирования семян подсолнечника в потоке с использованием компьютерного зрения / В.Г. Благовещенский, А.Н. Петряков, В.А. Сумерин // Health, Food & Biotechnology. - 2020. Т. 2. - № 3. С. 40-47. DOI: 10.36107/hfb.2020.i3.s70

30. Сантос Кунихан М.Р. Повышение качества молотого кофе «Арабика» за счет использования SCADA системы при автоматизации процесса объемного дозирования / М.Р. Сантос Кунихан, И.Г. Благовещенский, **В.Г. Благовещенский**, А.Н. Петряков // Health, Food & Biotechnology. - 2019. Т. 1. - № 2. С. 121-135. DOI: 10.36107/hfb.2019.i2.s255

Статьи в профессиональных журналах и научных сборниках

31. Зеленова, Е.Н. Перспективы использования микропроцессорных программируемых и интеллектуальных систем управления в производстве пищевых изделий / Е.Н. Зеленова, И.Г. Благовещенский, **В.Г. Благовещенский**, И.В. Кротов // Фабрика будущего. Сборник научных докладов V Международной конференции. – Курск. - 2024. - С. 156-161.

32. Благовещенская, М.М. Возможности использования искусственных нейронных сетей в производстве пористого шоколада / М.М. Благовещенская, М.В. Веселов, **В.Г. Благовещенский**, И.Г. Благовещенский, Д.И. Быстров // Фабрика будущего. Сборник научных докладов V Международной конференции. – Курск. - 2024. - С. 20-23.

33. **Благовещенский, В.Г.** Использование цифровой симуляции для автоматического распознавания бракованных изделий / И.Г. Благовещенский // Фабрика будущего. Сборник научных докладов V Международной конференции. – Курск. - 2024. - С. 23-26.

34. Кротов, И.В. Использование машинного зрения для создания прибора автоматического контроля угла естественного откоса пищевых сыпучих масс в потоке / И.В. Кротов, **В.Г. Благовещенский**, И.Г. Благовещенский, М.М. Благовещенская // Фабрика будущего. Сборник научных докладов V Международной конференции. – Курск. - 2024. - С. 253-255

35. **Благовещенский, В.Г.** Разработка концептуальной структурно- динамической модели интеллектуальной системы управления качеством пищевой продукции / В.Г. Благовещенский // Фабрика будущего. Сборник научных докладов V Международной конференции. - Курск. - 2024. - С. 26-29.

36. Рылов, С.А. Использование технологии интернета вещей для автоматического контроля вязкости жидкости пищевых масс / С.А. Рылов, **В.Г. Благовещенский**, И.Г. Благовещенский, И.В. Кротов, М.М. Благовещенская // Фабрика будущего. Сборник научных докладов V Международной конференции. – Курск. - 2024. - С. 285-288.

37. **Благовещенский, В.Г.** Создание персонализированной кондитерской продукции нового поколения с использованием технологий кастомизации / В.Г. Благовещенский // Фабрика будущего. Сборник научных докладов V Международной конференции. – Курск. - 2024. - С. 29-32.

38. **Благовещенский, В.Г.** Исследование и выбор оптимальной информационной логистической системы управления производством продукции / В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский, Н.В. Жукова, И.В. Кротов // Фабрика будущего. Сборник научных докладов V Международной конференции. – Курск. - 2024. - С. 32-38.

39. **Благовещенский, В.Г.** Выбор инструментария и программного обеспечения для разработки информационной логистической системы управления производством изделий / В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский, Н.В. Жукова, И.В. Кротов, М.М. Благовещенская // Фабрика будущего. Сборник научных докладов V Международной конференции. – Курск. - 2024. - С. 39-48.

40. **Благовещенский, В.Г.** Разработка архитектуры информационной логистической системы управления производством продукции. / В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский, В.С. Попов, А.О. Игольников, Ч.В. Хойнов // Фабрика будущего. Сборник научных докладов V Международной конференции. – Курск. - 2024. - С. 48-57.

41. **Благовещенский, В.Г.** Автоматизация контроля органолептических показателей качества семян подсолнечника с использованием системы компьютерного зрения / В.Г. Благовещен-

ский, И.Г. Благовещенский, П.М. Шкапов // Фабрика будущего. Сборник научных докладов V Международной конференции. – Курск. - 2024. - С. 57-62.

42. **Благовещенский, В.Г.** Автоматизация контроля органолептических показателей качества шоколадных конфет / В.Г. Благовещенский, Д.К. Карпов, М.В. Титов, К. Мурвирапачена // Фабрика будущего. Сборник научных докладов V Международной конференции. - Курск. - 2024. - С. 67-76.

43. **Благовещенский, В.Г.** Разработка программно- аппаратного комплекса контроля в режиме реального времени качества семян подсолнечника / В.Г. Благовещенский, П.М. Шкапов, И.Г. Благовещенский, М.А. Гдхиуи // Фабрика будущего. Сборник научных докладов V Международной конференции. – Курск. - 2024. - С. 76-84.

44. Благовещенский, И.Г. Аспекты использования технологий виртуальной и дополненной реальности для оптимизации производства пищевых продуктов / И.Г. Благовещенский, **В.Г. Благовещенский**, Е.Н. Зеленова, М.М. Благовещенская // Фабрика будущего. Сборник научных докладов V Международной конференции. – Курск. - 2024. - С. 89-92.

45. Благовещенский, И.Г. Автоматизированные системы мониторинга процессов производства пищевых продуктов на основе WEB-технологий / И.Г. Благовещенский, **В.Г. Благовещенский**, И.В. Кротов, М.М. Благовещенская // Фабрика будущего. Сборник научных докладов V Международной конференции. – Курск. - 2024. - С. 93-98.

46. Благовещенский, И.Г. Разработка платформы для кастомизации формы, вкуса и цвета кондитерских изделий / И.Г. Благовещенский, **В.Г. Благовещенский**, С.А. Мокрушин, А.С. Носенко, В.В. Головин, В.А. Сумерин // Роговские чтения. Секция "Автоматизация технологических процессов и производств". Сборник докладов НП конференции с международным участием. – Курск. - 2023. - С. 101-109.

47. **Благовещенский, В.Г.** Разработка платформы для кастомизации формы и цвета кондитерских изделий / В.Г. Благовещенский // Интеллектуальные автоматизированные управляющие системы в биотехнологических процессах. сборник докладов всероссийской научно-практической конференции. – Москва. - 2023. - С. 10-15.

48. **Благовещенский, В.Г.** Создание автоматических датчиков контроля консистенции кондитерских масс / В.Г. Благовещенский, В.А. Холопов, И.Г. Благовещенский, М.М. Благовещенская, И.В. Кротов, Ю.В. Зуева // Современные проблемы автоматизации технологических процессов и производств. Сборник докладов НП конференции с международным участием, посвященной 100-летию Игоря Константиновича Петрова. – Курск. - 2023. - С. 105-114.

49. **Благовещенский, В.Г.** Исследование технологического процесса производства зефира как объекта автоматизации / В.Г. Благовещенский, О.В. Ушаков, И.Г. Благовещенский, С.А. Мокрушин, Л.А. Крылова // Роговские чтения. Сборник докладов НП конференции с международным участием. – Курск. - 2023. - С. 110-120.

50. **Благовещенский, В.Г.** Автоматизация контроля угла естественного откоса / В.Г. Благовещенский, В.А. Холопов, И.Г. Благовещенский, М.М. Благовещенская, Ю.В. Зуева, И.В. Кротов // Современные проблемы автоматизации технологических процессов и производств. сборник научных докладов НП конференции с международным участием, посвященной 100-летию Игоря Константиновича Петрова. – Курск. - 2023. - С. 115-122.

51. Благовещенский, И.Г. Создание WEB-сайта с возможностью кастомизировать кондитерское изделие / И.Г. Благовещенский, **В.Г. Благовещенский**, М.М. Благовещенская, И.А. Кротов, О.Л. Ахремчик, В.А. Сумерин // Роговские чтения. Сборник докладов НП конференции с международным участием. – Курск. - 2023. - С. 119-136.

52. Благовещенский, И.Г. Параметрические модели нестационарных ТП производства пищевой продукции / И.Г. Благовещенский, **В.Г. Благовещенский**, Ю.В. Зуева, В.Г. Рожков, М.М. Благовещенская // Современные проблемы автоматизации ТП и производств. Сборник научных докладов НП конференции с международным участием, посвященной 100-летию Игоря Константиновича Петрова. – Курск. - 2023. - С. 131-139.

53. Благовещенский И.Г. Создание базы данных для разработки облачной платформы хранения и редактирования трехмерных моделей конфет / И.Г. Благовещенский, **В.Г. Благовещен-**

ский, В.А. Сумерин, О.Л. Ахремчик, М.М. Благовещенская // Роговские чтения. Сборник докладов НП конференции с международным участием. – Курск. - 2023. - С. 136-147.

54. **Благовещенский, В.Г.** Разработка трехмерных моделей конфет / В.Г. Благовещенский // Интеллектуальные автоматизированные управляющие системы в биотехнологических процессах. Сборник докладов всероссийской НП конференции. – Москва. - 2023. - С. 15-28.

55. Кротов И.В. Повышение эффективности процесса контроля вязкости пищевых масс с использованием программируемых технических средств / И.В. Кротов, **В.Г. Благовещенский**, М.М. Благовещенская, С.А. Мокрушин // Интеллектуальные автоматизированные управляющие системы в биотехнологических процессах. Сборник докладов всероссийской НП конференции. – Москва. - 2023. - С. 190-196.

56. **Благовещенский, В.Г.** Научные основы для создания цифровых двойников производства кондитерских изделий / В.Г. Благовещенский // Роговские чтения. Секция "Автоматизация технологических процессов и производств". Сборник докладов научно-практической конференции с международным участием. – Курск. - 2023. - С. 19-28.

57. Кротов, И.В. Автоматизация контроля консистенции кондитерских масс / И.В. Кротов, **В.Г. Благовещенский**, А.Е. Краснов, И.Г. Благовещенский, М.М. Благовещенская, И.А. Стрелков // Современные проблемы автоматизации технологических процессов и производств. Сборник научных докладов НП конференции с международным участием, посвященной 100-летию Игоря Константиновича Петрова. – Курск. - 2023. - С. 224-231.

58. Кучумов, А.В. Использование цифровых двойников для процессного моделирования и технологической подготовки производства пищевых продуктов / А.В. Кучумов, И.Г. Благовещенский, **В.Г. Благовещенский**, А.В. Ионов, П.И. Осташов // Роговские чтения. Секция "Автоматизация технологических процессов и производств". Сборник докладов НП конференции с международным участием. – Курск. - 2023. - С. 253-262.

59. **Благовещенский, В.Г.** Создание информационного ВЕБ- приложения для продвижения кондитерских изделий / И.Г. Благовещенский // Интеллектуальные автоматизированные управляющие системы в биотехнологических процессах. сборник докладов всероссийской НП конференции. – Москва. - 2023. - С. 29-35.

60. Сыч, С.В. Использование технологий виртуальной и дополненной реальностей и инструментов Кайдзен для оптимизации пищевых производств / С.В. Сыч, **В.Г. Благовещенский**, В.А. Холопов, И.Г. Благовещенский, С.А. Рылов, М.М. Благовещенская // Интеллектуальные автоматизированные управляющие системы в биотехнологических процессах. сборник докладов всероссийской НП конференции. – Москва. - 2023. - С. 313-323.

61. **Благовещенский, В.Г.** Автоматизация контроля блеска покрытий глазированных шоколадных конфет различной геометрической формы / В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский, В.В. Головин, А.М. Аднодворцев, М.М. Благовещенская, В.В. Стецик, Ш.К. Шаманов // Фабрика будущего. Сборник научных докладов IV Международной специализированной конференции-выставки. – Москва. - 2023. - С. 35-40.

62. **Благовещенский, В.Г.** Разработка мультиагентной имитационной модели процесса производства мармеладных конфет с использованием ANYLOGIC / В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский, С.А. Мокрушин, М.М. Благовещенская, Е.Н. Зеленова // Роговские чтения. Секция "Автоматизация технологических процессов и производств". Сборник докладов научно-практической конференции с международным участием. – Курск. - 2023. - С. 36-46.

63. **Благовещенский, В.Г.** Разработка интеллектуального датчика контроля качества и оценки внешней формы пористого шоколада на основе машинного зрения / В.Г. Благовещенский, И.В. Кротов, И.Г. Благовещенский, А.В. Ионов, С.А. Мокрушин // Роговские чтения. Секция "Автоматизация технологических процессов и производств". Сборник докладов научно-практической конференции с международным участием. – Курск. - 2023. - С. 53-61.

64. **Благовещенский, В.Г.** Модель системы управления информационным ресурсом производства на основе СУБД/ В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский, А.В. Михайлов, С.Д. Рогов, А.В. Сюндюков // Фабрика будущего. Сборник научных докладов IV Международной специализированной конференции-выставки. - Москва. - 2023. - С. 61-65.

65. **Благовещенский, В.Г.** Анализ технологического процесса производства пористого шоколада как объекта автоматизации / В.Г. Благовещенский, И.В. Кротов, М.В. Веселов, С.А. Мокрушин, В.А. Касаткин // Роговские чтения. Секция "Автоматизация технологических процессов и производств". Сборник докладов научно-практической конференции с международным участием. – Курск. - 2023. - С. 61-75.
66. **Благовещенский, В.Г.** Основные этапы кастомизации формы, вкуса и цвета кондитерских изделий / В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский, А.В. Сjunдюков, С.В. Киселев, М.М. Благовещенская, О.А. Крот // Интеллектуальные автоматизированные управляющие системы в биотехнологических процессах. сборник докладов всероссийской научно-практической конференции. – Москва. - 2023. - С. 62-67.
67. **Благовещенский, В.Г.** Применение на производстве нейронной сети YOLO для определения качества пищевой продукции / В.Г. Благовещенский, И.Г. И.Г. Благовещенский, В.А. Холотов, Е.Н. Зеленова // Фабрика будущего. Сборник научных докладов IV Международной специализированной конференции-выставки. - Москва. - 2023. - С. 66-72.
68. **Благовещенский, В.Г.** Разработка облачной платформы для хранения и редактирования трехмерных моделей конфет / В.Г. Благовещенский, А.Е. Краснов, И.Г. Благовещенский, С.А. Мокрушин, С.Д. Рогов // Интеллектуальные автоматизированные управляющие системы в биотехнологических процессах. Сборник докладов всероссийской НП конференции. – Москва. - 2023. - С. 77-85.
69. **Благовещенский, В.Г.** Автоматизация контроля запаха пищевых продуктов с помощью нейросети / В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский, Е.В. Калитеевский, М.М. Благовещенская, А.В. Орлов // Роговские чтения. Секция "Автоматизация технологических процессов и производств". Сборник докладов научно-практической конференции с международным участием. – Курск. - 2023. - С. 9-16.
70. **Благовещенский, В.Г.** Использование методов объектно- ориентированных языков программирования в системе компьютерного зрения при решении задач автоматизации контроля качества халвы / В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский, А.С. Носенко, Е.Н. Куликова, М.М. Благовещенская, М.В. Веселов // Фабрика будущего. Сборник научных докладов III Международной специализированной конференции-выставки. - Москва. - 2023. - С. 51-64.
71. **Благовещенский, В.Г.** Управление технологическими процессами производства кондитерских изделий с использованием нейросетевого регулятора / В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский, М.М. Благовещенская, А.М. Аднодворцев, В.В. Головин // Информатизация и автоматизация в пищевой промышленности. Сборник научных докладов Всероссийской научно-технической конференции. – Курск. - 2022. - С. 78-83.
72. Mokrushin, S.A. SELECTION OF A SYSTEM FOR AUTOMATIC CONTROL OF THE STERILIZATION PROCESS OF CANNED FOOD IN AN INDUSTRIAL AUTOCLAVE / S.A. Mokrushin, E.A. Nazoikin, N.A. Zabenkova, **V.G. Blagoveschenskiy**, A.R. Terekhin, N.S. Galkin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - 2022. T. 1052. - № 1. - С. 012136.
73. Shkapov, P.M. DEVELOPMENT AND RESEARCH OF MATHEMATICAL MODELS AND CONTROL ALGORITHMS FOR THE SEPARATION OF BULK MATERIALS /. P.M. Shkapov, I.G. Blagoveshchensky, **V.G. Blagoveshchensky**, M.M., Blagoveshchenskaya, A.E. Krasnov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Fundamental and Applied. - 2021. T. 1191. - № 1. - С. 012018.
74. Blagoveshchenskiy, I.G. DEVELOPMENT OF DATABASES OF INTELLIGENT EXPERT SYSTEMS FOR AUTOMATIC CONTROL OF PRODUCT QUALITY INDICATORS / I.G. Blagoveshchenskiy, **V.G. Blagoveshchenskiy**, E.M. Besfamilnaya, V.A. Sumerin // Journal of Physics: Conference Series. Сер. "Fundamental and Applied Problems of Mechanics, FAPM 2019". - 2020. - С. 012019.
75. Shkapov, P.M. USING DEPTH MAP ALGORITHMS TO IMPROVE THE QUALITY OF OBJECT IDENTIFICATION ON DIGITAL STEREO IMAGES / P.M. Shkapov, I.G. Blagoveschensky, A.N. Petryakov, **V.G. Blagoveschensky** // Journal of Physics: Conference Series. Сер. "International Meeting - Fundamental and Applied Problems of Mechanics" - 2019. - С. 012021.

76. Петряков, А.Н. Применение метода объектно- ориентированного программирования для контроля качества кондитерской продукции / А.Н. Петряков, М.М. Благовещенская, **В.Г. Благовещенский**, Л.А. Крылова // Кондитерское и хлебопекарное производство. - 2018. - № 5-6 (176). - С. 21-23.

77. **Благовещенский, В.Г.** Разработка экспертной системы контроля качества в процессе приготовления халвы / В.Г. Благовещенский, М.М. Благовещенская // Живые системы и биологическая безопасность населения. Сборник материалов XV международной научной конференции студентов и молодых ученых. - 2017. - С. 132-137.

78. **Благовещенский, В.Г.** Разработка программно- аппаратного комплекса мониторинга производства халвы / В.Г. Благовещенский, Л.А. Крылова, А.С. Максимов // Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности России: кадры и наука. - 2017. - С. 196-199.

79. **Благовещенский, В.Г.** Автоматизация процесса очистки семян подсолнечника при производстве халвы / В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский, Е.А. Назойкин, А.С. Носенко // Автоматизация и управление технологическими и бизнес- процессами в пищевой промышленности. Сборник научных докладов II международной НП конференции. - 2016. - С. 58-62.

80. **Благовещенский, В.Г.** Разработка структурно- параметрической модели процесса приготовления помадного сиропа при производстве халвы / В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский, Е.А. Назойкин, В.О. Савельев // Автоматизация и управление технологическими и бизнес- процессами в пищевой промышленности. Сборник научных докладов II международной НП конференции. - 2016. - С. 86-91.

Патенты, свидетельства Роспатента о регистрации базы данных, программ для ЭВМ

81. **Благовещенский, В.Г.** Конструктор внешнего вида и формы кондитерских изделий / В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский, И.В. Кротов // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2025613322, 11.02.2025. Заявка № 2025611139 от 24.01.2025.

82. **Благовещенский, В.Г.** Модуль расчета консистенции с фиксированным таймингом / В.Г. Благовещенский В.Г., Благовещенский И.Г., Кротов И.В. // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2025614754, 25.02.2025. Заявка № 2025613088 от 20.02.2025.

83. **Благовещенский, В.Г.** Модуль машинного зрения для расчета консистенции / В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский, И.В. Кротов // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2025615894, 11.03.2025. Заявка № 2025614363 от 05.03.2025.

84. **Благовещенский, В.Г.** Органолептические показатели качества современной кондитерской продукции / В.Г. Благовещенский, И.В. Кротов, И.Г. Благовещенский // Свидетельство о регистрации базы данных RU 2024625642, 02.12.2024. Заявка № 2024625359 от 16.11.2024.

85. **Благовещенский, В.Г.** Реологические показатели качества современной кондитерской продукции / В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский, И.В. Кротов // Свидетельство о регистрации базы данных RU 2024626158, 19.12.2024. Заявка № 2024625798 от 29.11.2024.

86. Дроханов, А.Н. Способ и устройство для Фурье- анализа жидких светопропускающих сред. / А.Н. Дроханов, **В.Г. Благовещенский**, А.Е. Краснов, Е.А. Назойкин // Патент на изобретение RU 2770415 С1, 15.04.2022. Заявка № 2021101580 от 26.01.2021.

87. **Благовещенский, В.Г.** МИКРОСПЕКТР. МОДУЛЬ 2. /В.Г. Благовещенский, М.В. Васильев, А.В. Горшков, В.Г. Дементьев, А.А. Кузьмина, А.Ф. Моор //Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2024613819, 15.02.2024. Заявка от 15.02.2024.

88. **Благовещенский, В.Г.** Модуль расчета вязкости / В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский, И.В. Кротов // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2025662616, 22.05.2025. Заявка № 2025660744 от 30.04.2025.

89. **Благовещенский, В.Г.** Программа мониторинга извлечения примесей при сепарировании семян подсолнечника / В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский, И.В. Кротов // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2025619028, 14.04.2025. Заявка № 2025611139 от 24.01.2025.

90. **Благовещенский, В.Г.** Модуль расчета угла естественного откоса / В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский, И.В. Кротов // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2025661081, 29.04.2025. Заявка № 2025618862 от 12.04.2025.

91. **Благовещенский, В.Г.** Программа для оценки цвета кондитерских изделий / В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский, И.В. Кротов // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2025666321, 25.06.2025. Заявка № 2025664650 от 03.06.2025.

92. **Благовещенский, В.Г.** Модуль расчета оценки вкуса кондитерских изделий на производстве/ В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский, Е.Н. Зеленова, И.В. Кротов // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2025682461, 22.08.2025. Заявка № 2025681278 от 09.07.2025.

93. **Благовещенский, В.Г.** Программный модуль расчета для оценки запаха кондитерских изделий на производстве/ В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский, И.В. Кротов, Е.Н. Зеленова // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2025683407, 03.09.2025. Заявка № 2025682609 от 30.07.2025.