

На правах рукописи

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 – 2024

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: **Шкапов Павел Михайлович**, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», заведующий кафедрой «Теоретическая механика»

Петров Сергей Михайлович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ)», профессор кафедры систем автоматизированного управления

Кайченев Александр Вячеславович, доктор технических наук, доцент, ФГАОУ ВО «Мурманский арктический университет», заведующий кафедрой автоматики и вычислительной техники

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «**Воронежский государственный университет инженерных технологий**»

Защита состоится «27» июня 2024 г. в 10.00 час. на заседании Диссертационного Совета 24.2.334.01 (Д 212.148.02) 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 « ____ » _____ 2024 г.

Ученый секретарь Диссертационного Совета 24.2.334.01 (Д 212.148.02),
кандидат технических наук Мокрушин С.А.

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

Основная задача управления качеством кондитерской продукции – обеспечить стабильность производственных процессов, не допустить появления 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 автоматические системы 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 ход этих процессов, но при этом весьма ограниченное число их оптимальных вариантов. Поиск и обоснование таких сочетаний способствует в дальнейшем на базе полученных результатов перейти к разработке интеллектуальных систем контроля и управления, позволяющих осуществлять своевременное автоматическое изменение технологических параметров процесса и режимов работы используемого оборудования.

Для разработки таких систем необходима, в первую очередь, автоматизация контроля в потоке основных органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий, и создание, на этой основе, автоматизированных систем 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 А.Н. Австриевских, И.А. Авцинов, В.К. Битюков, М.М. Благовещенская, И.Г. Благовещенский, Ю.Ю. Громов, М.В. Жиров, А.Ф. Егоров, Ю.А. Ивашкин, С.А. Красников, А.Е. Краснов, А.Б. Лисицын, В.В. Митин, К.С. Мышенков, М.А. Ни-

китина, С.В. Николаева, В.О. Новицкий, Н.В. Остапчук, С.М. Петров, А.Ю. Про-секов, Г.В. Семенов, С.П. Сердобинцев, А.В. Татаринев, Е.И. Титов, В.Я. Чер-ных, Е.Д. Чертов, А.В. Шаверин и др.

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

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 конди-терских предприятий органолептическим путем 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 непре-рывного автоматического контроля в потоке органолептических показателей ка-чества сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции за счет внед-рения высокоэффективных интеллектуальных технологий в производственный процесс и создания на этой основе интеллектуальных автоматизированных си-стем управления.

Трудность решения задач автоматизации контроля в потоке данных органо-лептических показателей заключается в том, что кондитерские массы представ-ляют собой сложные и неоднородные многокомпонентные смеси, состояние ко-торых зависит от многих факторов (состава сырья, режимов работы оборудова-ния, структурно-механических свойств и т.д.). Все это вызывает частые колеба-ния параметров процессов приготовления многокомпонентных кондитерских масс, что отражается на качестве полуфабрикатов и готовой продукции.

Успешное решение этой проблемы возможно лишь при создании и внедре-нии в производственный процесс автоматизированных интеллектуальных систем контроля и управления с использованием искусственных нейронных сетей (ИНС), систем компьютерного зрения (СКЗ), мультиагентных имитационных технологий моделирования, цифровых двойников, виртуальной и дополненной реальности и других интеллектуальных технологий.

Создание такой системы позволит: непрерывно, в потоке контролировать органолептические показатели качества сырья, полуфабрикатов и готовой кон-дитерской продукции в течение всего технологического процесса; обеспечить стабильность производства кондитерских изделий; прогнозировать качество по-луфабрикатов и готовой продукции; существенно уменьшить уровень брака, снизить потери рабочего времени, сырья и энергии, повысить качество готовой продукции.

Решение этих актуальных задач является крупной теоретической и практи-ческой проблемой, позволяющей значительно повысить эффективность сложных многостадийных ТП кондитерских производств.

Исходя из вышеизложенного, тема диссертационной работы «Методологи-ческие основы автоматизации контроля органолептических показателей качества кондитерской продукции и создание на их базе интеллектуальных систем управ-

ления» 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», «15. Теоретические основы, методы и алгоритмы диагностирования (определения работоспособности, поиск неисправностей и прогнозирования), АСУП, АСТПП и др.».

Изложенное позволяет сделать вывод об актуальности темы диссертационной работы.

Цель работы и задачи исследования.

Целью диссертационной работы является повышение эффективности производства кондитерской продукции и разработка научно-практических основ создания типовой интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кондитерских изделий с различной структурой.

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

- ✓ Систематизация и анализ, как объектов автоматизации, разных по структуре и видов ТП производства кондитерской продукции.
- ✓ Системный анализ методов, алгоритмов и технологий искусственного интеллекта для обоснования их использования при разработке ИАСКиУК кондитерской продукции.

- ✓ Разработка инструментария для автоматического контроля в потоке органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых кондитерских изделий.
- ✓ Создание структурно- параметрических, математических, ситуационных и имитационных моделей ТП производства кондитерской продукции различной структуры.
- ✓ Разработка методики создания и использования цифровых моделей двойников в процессах производства кондитерских изделий.
- ✓ Создание новой линейки оригинальной персонализированной кондитерской продукции нового поколения на основе использования технологий виртуальной, дополненной реальностей и кастомизации.
- ✓ Разработка типовой интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кондитерской продукции.
- ✓ Разработка информационного, математического и программного обеспечения ИАСКиУК кондитерской продукции.
- ✓ Проведение практической апробации.
- ✓ Внедрение результатов диссертационной работы в учебный процесс и научные исследования.

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

Предметом исследования и разработок являются совокупность теоретических, методологических и практических проблем, связанных с созданием интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кондитерской продукции в режиме реального времени и соответствующее информационное, математическое 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 искусственного интеллекта; методов системного анализа и математической статистики. Численная и графическая обработка результатов исследований производилась с применением MatLab и Anylogic.

Научная новизна и теоретическая значимость диссертации:

1. Разработаны методологические основы системного анализа подготовленности ТП производства кондитерской продукции к внедрению интеллектуальных автоматизированных систем контроля и управления органолептическими показателями качества кондитерских изделий.
2. Получены функционально - структурные схемы (ФСС) влияния показателей исходного сырья и промежуточных операций на формирование качества конди-

терской продукции разной структуры на всех стадиях производства с указанием необходимых точек контроля и регулирования.

3. Разработана методология создания нового поколения интеллектуальных средств автоматизации контроля в режиме реального времени основных органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции.

4. Разработан комплекс структурно – параметрических, математических, ситуационных и имитационных моделей процессов производства кондитерской продукции, являющийся основой создания интеллектуальной автоматизированной системы контроля, прогнозирования и управления качеством этой продукции в процессе производства.

5. Разработана методика создания цифровых двойников производства кондитерской продукции.

6. Разработан алгоритм создания новой линейки персонализированной кондитерской продукции нового поколения. Приведены основные этапы кастомизации формы, вкуса и цвета создаваемых оригинальных кондитерских изделий. Представлена методика процесса разработки цифровых трехмерных моделей конфет, помогающая определить ключевые элементы дизайна нового изделия, такие как форма, размер, текстура и цвет конечного продукта.

7. Предложена методика формирования базы знаний интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кондитерской продукции в процессе ее производства.

8. Представлена модификация функциональных схем автоматизации 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.

9. Разработана концепция создания типовой интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кондитерской продукции.

10. Разработано методическое обеспечение работы данной системы.

Практическая значимость результатов исследования.

Основные позиции, определяющие практическую ценность работы, заключаются в следующем:

1. Разработка нового поколения интеллектуальных средств автоматического контроля в режиме реального времени важнейших органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции.

2. Создание и использование цифровых двойников при проектировании и эксплуатации ТП производства кондитерских изделий.

3. Разработка новой линейки оригинальной персонализированной кондитерской продукции с использованием технологий виртуальной, дополненной реальности и кастомизации.

4. Создание базы знаний ИАСКиУК кондитерской продукции.

5. Разработка эффективного информационного, математического и программного обеспечения ИАСКиУК кондитерской продукции с функциями прогнозирования, поддержки и принятия решений.

6. Разработка технических решений для реализации ИАСКиУК кондитерской продукции в процессе производства. Подбор технических средств для реализации интеллектуальной системы.

Разработанные методы, модели, алгоритмы, способы, структуры и программы прошли апробацию и были внедрены в кондитерском 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», «Мехатроника и робототехника» и «Управление в технических системах». Имеются соответствующие акты внедрения.

Достоверность полученных в работе результатов подтверждается использованием методов системного анализа и теории принятия решений, экспериментальными исследованиями ТП производства кондитерской продукции, проведенными в производственных условиях ОАО «Рот-Фронт» Холдинга «Объединенные кондитеры», а также обеспечивается совпадением расчетных данных и результатов эксперимента.

Положения, выносимые на защиту

1. Методологические основы системного анализа подготовленности ТП производства кондитерской продукции разной структуры к внедрению интеллектуальных автоматизированных систем контроля и управления.

2. Методология разработки структурно-параметрических, математических, ситуационных и имитационных моделей основных этапов ТП производства кондитерской продукции с различной структурой, являющихся основой разработки ИАСКиУ.

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 создания моделей цифровых двойников производства кондитерских изделий для их использования при проектировании и эксплуатации ТП производства кондитерских изделий.

5. Методологические основы создания новой линейки оригинальной персонализированной кондитерской продукции с использованием технологий виртуальной, дополненной реальностей и кастомизации.
6. Методологические основы разработки комплекса методов, алгоритмов, моделей и программ, обеспечивающих работу созданной нейросетевой ИАСКиУК кондитерской продукции.
7. Модификация функциональных схем автоматизации 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.
8. Концепция создания интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кондитерской продукции.
9. Технические решения для реализации интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством кондитерской продукции в процессе производства. Подбор технических средств для реализации этой интеллектуальной системы.

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 научно-практической конференции «21 век: фундаментальная наука и технологии» («21 century: fundamental science and technology V»), Институт вычислительных технологий СО РАН; Международной научно-практической 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; II международной научно- практической конференции «Цифровизация Агропромышленного комплекса», Тамбов. 2020; II 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; научно- практической конференции с международным участием «Современные проблемы автоматизации ТП и производств», посвященной 100-летию со дня рождения Игоря Константиновича Петрова, Москва, октябрь, 2023.

На различных этапах выполнения содержание отдельных разделов, результаты исследований и диссертация в целом были доложены и получили одобре-

ние на расширенных заседаниях кафедры «Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами» ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет».

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

Публикации. Основное содержание диссертационной работы отражено в 160 печатных работах. Из них 3 монографии, 1 патент на изобретение, 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ, 13 статей в журналах, входящих в список ВАК и 7 - в Scopus, 6 – в других изданиях, а также 129 докладов в сборниках научных докладов международных конференций.

Структура и объем работы.

Диссертационная работа состоит из введения, 7 глав, заключения и списка используемой литературы (280 источников). Работа изложена на 507 страницах машинописного текста, содержит 295 рисунков, 38 таблиц и 5 приложений.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертационной работы, формулируются ее цели и задачи, новизна и практическая значимость полученных результатов, а также основные научные положения, выносимые на защиту, оценивается степень достоверности полученных результатов, приводится список конференций, где апробировались результаты работы.

Первая глава посвящена методологическим основам анализа подготовленности технологических процессов (ТП) производства кондитерской продукции различной структуры (твердой, желеобразной, аморфной) и различных типов (плиточного шоколада; глазированных помадных и пралиновых конфет; сбивных конфет суфле; халвы; мармелада; карамели; зефира; козинак; драже; ириса) к внедрению интеллектуальных автоматизированных систем, постановке задач исследования.

В рамках этой главы проведены исследования и анализ ТП кондитерского производства как объектов автоматизации, дана характеристика основных стадий и материальных потоков. Рассмотрены особенности и закономерности этих ТП. Выбраны факторы, определяющие эффективность этих операций, всех стадий и каждого производства в целом. Проведен анализ параметров, оказывающих влияние на качество сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции. На основании полученных результатов разработаны функционально-структурные схемы (ФСС) влияния факторов исходного сырья, промежуточных операций на качество готовой кондитерской продукции в процессе производства (пример представлен на рисунке 1.1).

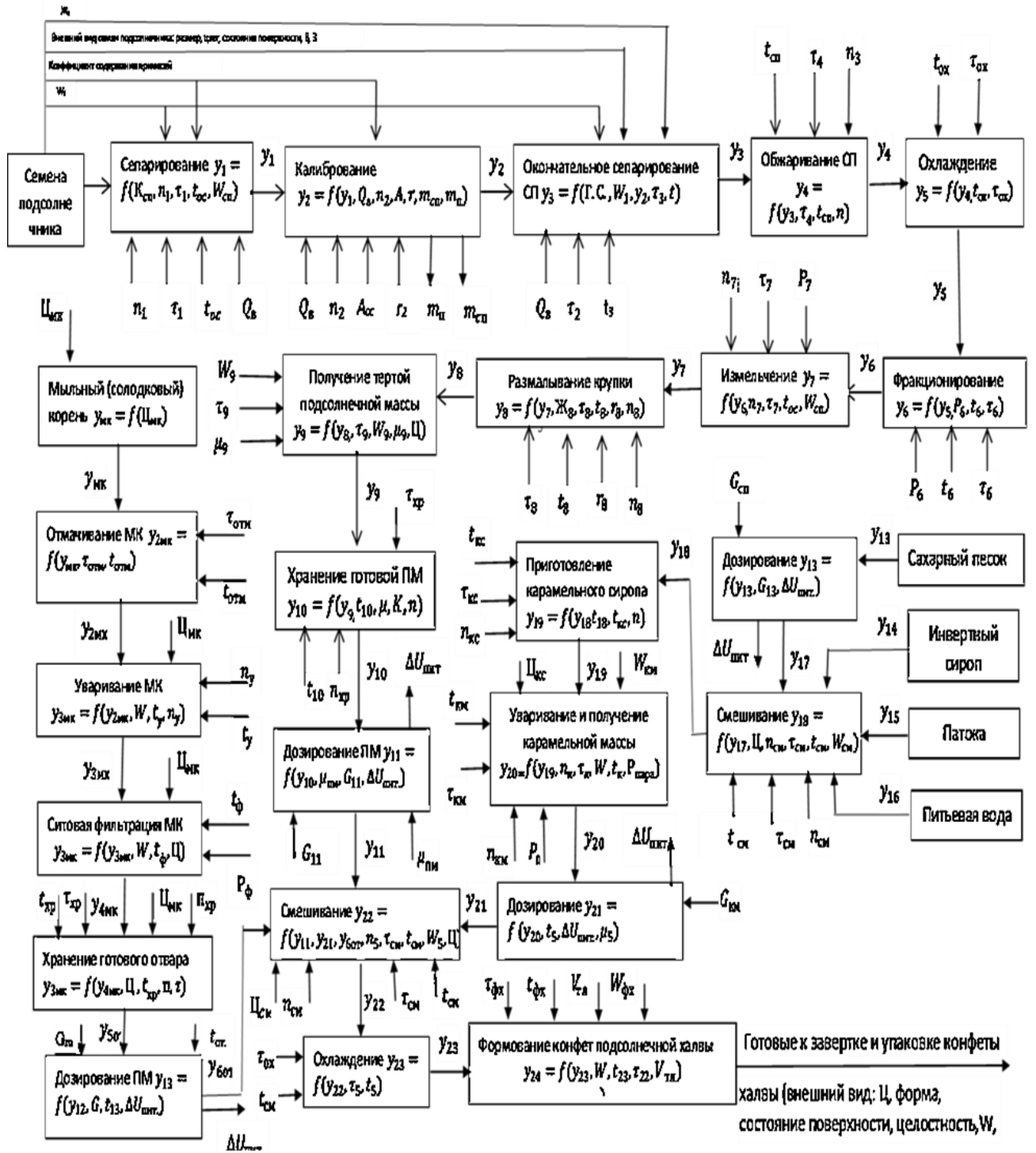


Рисунок 1.1. ФСС влияния показателей качества сырья и промежуточных операций на качество халвы на всех этапах

Выявлены необходимые для стабилизации ТП производства кондитерской продукции точки контроля и регулирования на всех этапах их производства. На рисунке 1.2 в качестве примера показана разработанная ФСС ТП производства халвы на всех этапах ее производства с указанием необходимых точек контроля (К) и регулирования (Р).

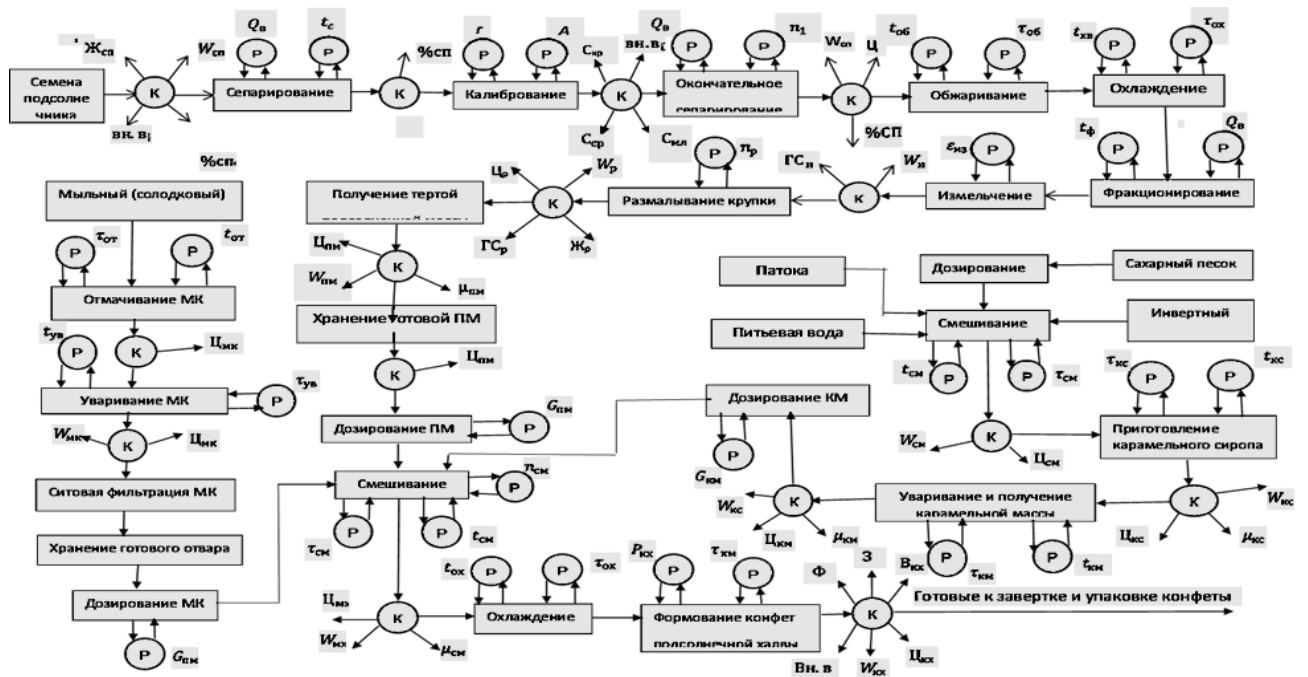


Рисунок 1.2. ФСС ТП производства халвы на всех этапах ее производства с указанием необходимых точек контроля и регулирования

Установлено, что применяемые в настоящее время методы оценки органолептических показателей качества определяются экспертами-технологами путем дегустационного анализа. Отмечена необходимость разработки методов и средств автоматического контроля в режиме реального времени этих органолептических показателей качества. Проведены экспериментальные исследования и построены органолептические профили исследуемых кондитерских изделий. Выполненные исследования позволили получить таблицу 1.1, в которой представлены выявленные наиболее важные органолептические показатели качества сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции, контролируемые на каждой стадии производства кондитерской продукции и профилограммы.

Таблица 1.1.

Определяющие основные органолептические показатели качества конфет

№ п/п	Наименование производства	Основные органолептические показатели качества кондитерской продукции в соответствии с ГОСТами и НТД	
2	Производство НПК	Вкус; запах, форма; цвет; структура, состояние поверхности изделия; консистенция.	
3	Производство сбивных конфет	Форма; цвет; консистенция; состояние поверхности сбивных конфет, глазированных шоколадной глазурью; вкус, запах.	
4	Производство халвы	Цвет; консистенция; состояние поверхности; вкус; запах; структура; угол естественного откоса используемого сырья.	
5	Производство мармелада	Цвет; консистенция; состояние поверхности; форма; вкус; запах.	
6	Производство карамели	Цвет; состояние поверхности; форма; вкус; запах; консистенция.	

7	Производство зефира	Цвет; состояние поверхности; форма; вкус; запах; консистенция.	
8	Производство козинак	Форма; вкус; запах; консистенция; внешний вид.	
9	Производство драже	форма, вкус, запах, консистенция, цвет, состояние поверхности, размеры, блеск поверхности.	
10	Производство ириса	Форма, вкус, запах, консистенция, состояние поверхности, структура.	

Анализ полученной таблицы 1.1 позволил выбрать и обосновать наиболее информативные органолептические показатели контроля качества сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции, которые необходимо контролировать в режиме онлайн в процессе производства: коэффициент извлечения примесей в сырье; 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 в режиме реального времени выбранных органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий, и создания на их базе интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством производства кондитерской продукции.

Осуществлен системный анализ и сформулирована проблемы данного исследования. Для понимания целей создания ИАСКиУ качеством кондитерской продукции было разработано дерево целей, представленное на рисунке 1.3.

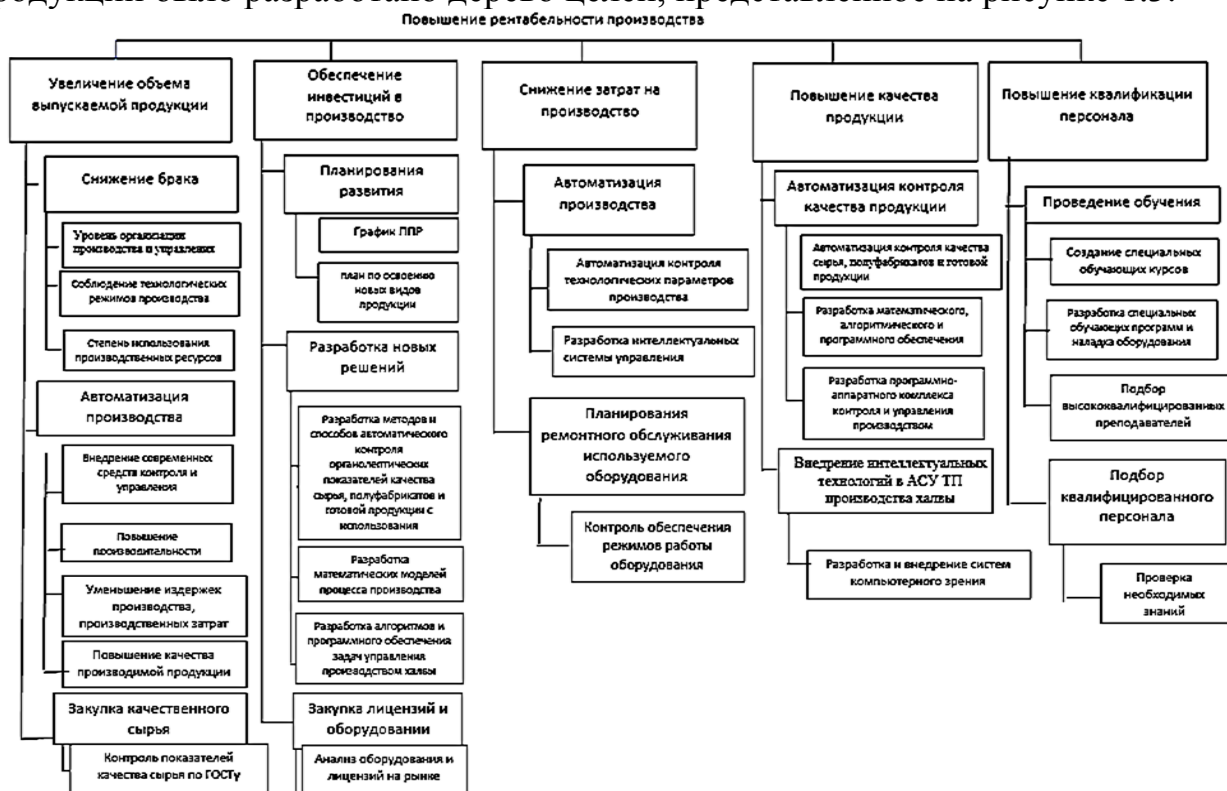


Рисунок 1.3. Дерево целей создания ИАСКиУК

Разработаны структура целей, системная диаграмма решения проблемы, создана концептуальная структурно- динамическая модель системы управления качеством различной кондитерской продукции в процессе производства.

Вторая глава посвящена интеллектуальным информационным системам и анализу возможности их использования для автоматизации контроля качества кондитерской продукции.

В рамках этой главы проведен системный анализ методов, алгоритмов и технологий с точки зрения возможности и эффективности их использования при разработке интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством кондитерской продукции. Рассмотрены проблемы управления технологическими процессами производства этой продукции и пути их преодоления. Проведена оценка возможностей практического применения различных методов, алгоритмов и классов адаптивных систем для управления производствами.

Рассмотрены особенности, признаки, функции и специфика использования интеллектуальных информационных систем. Проведен анализ возможности использования методов искусственного интеллекта для решения задач интеллектуализации управления качеством производства кондитерских изделий. Проведен анализ перспективности использования нейросетевых технологий, генетических алгоритмов, экспертных систем, систем технического зрения, онтологических технологий и мультиагентных имитационных моделей в решении задач интеллектуализации управления качеством производства кондитерской продукции.

Показано, что практической базой для реализации этой проблемы, в условиях нестабильности качества поступающего на производство сырья, влияния многочисленных факторов и режимных параметров используемого оборудования на процесс производства кондитерской продукции, может стать создание автоматизированной системы управления качеством этой продукции с применением искусственного интеллекта, включающего в свой арсенал нейросетевые технологии, системы компьютерного зрения, имитационное моделирование и эффективное сочетание этих методов.

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

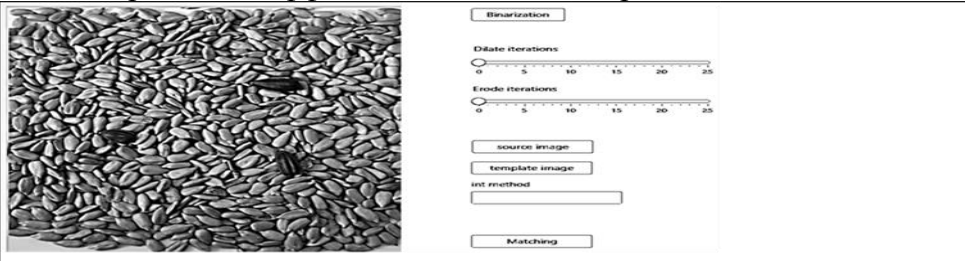
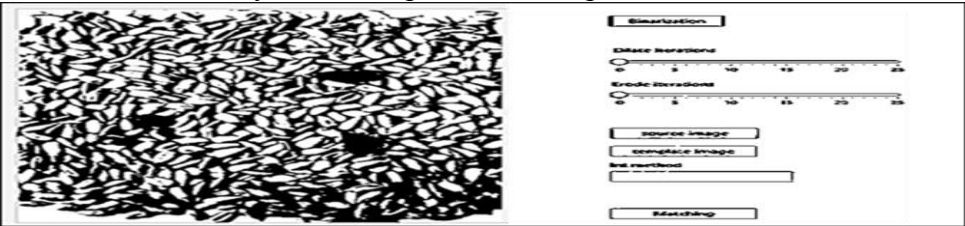
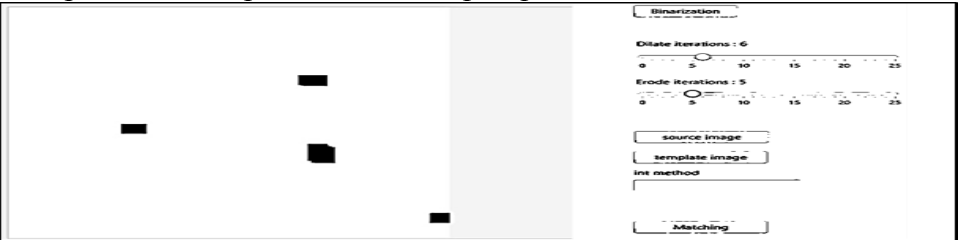
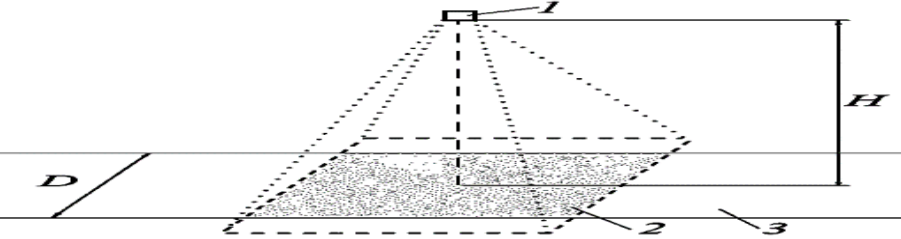
В рамках данной главы рассмотрено современное состояние методов и систем контроля и управления качеством продукции на промышленных предприятиях. Рассмотрены имеющиеся на кондитерских предприятиях системы АСУТП, АСУП. Проанализированы существующие в настоящее время инструменты контроля органолептических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

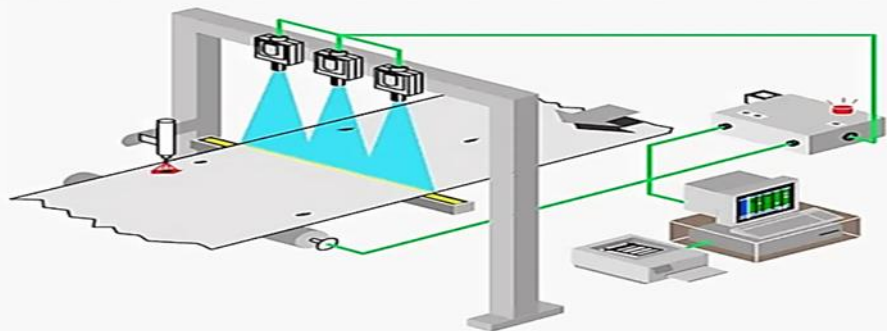
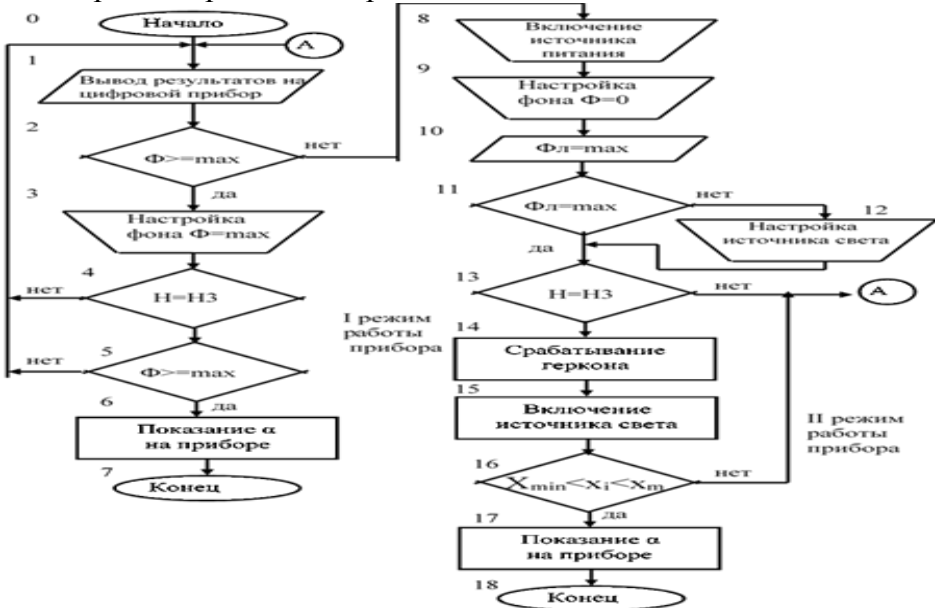
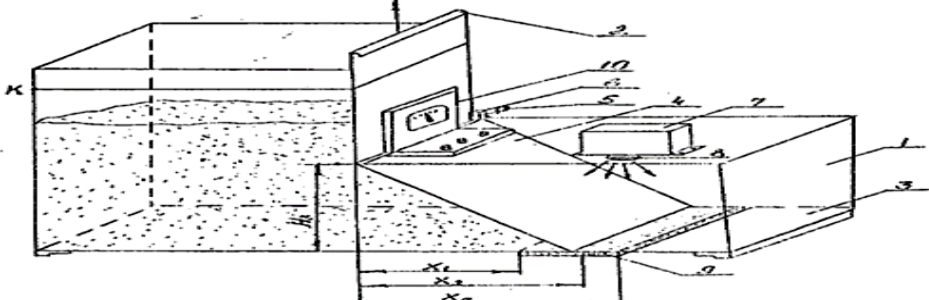
Анализ представленных в работе исследований, а также полученные профилограммы органолептической оценки различной кондитерской продукции позволили разработать методы и средства автоматического контроля основных органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых кондитерских изделий: коэффициент извлечения примесей; угол естественного от-


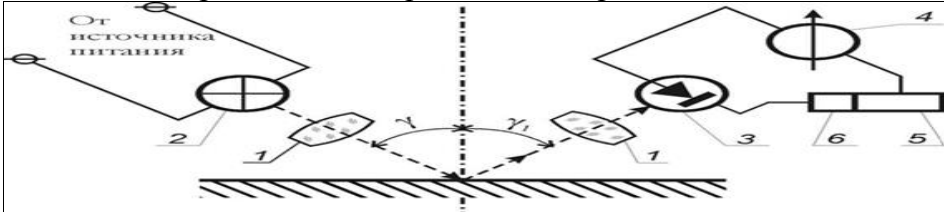

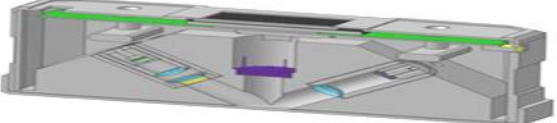
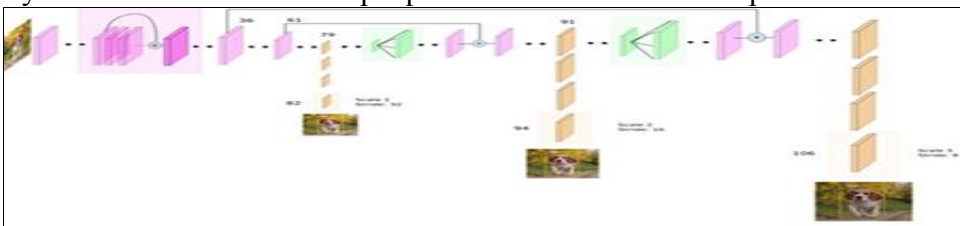

коса сыпучих масс; вкус; запах; цвет, внешний вид, размер изделия, состояние поверхности готовых кондитерских изделий, в том числе блеск поверхности, а также консистенция и вязкость (таблица 3.1).

Таблица 3.1.

Автоматизация контроля в режиме реального времени органолептических показателей качества (ОПК) сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции с использованием интеллектуальных технологий.

№ п/п	Наименование ОПК	Использованные или разработанные методы, алгоритмы, программы и технологии для создания средств автоматизации контроля в режиме реального времени ОПК сырья, полуфабрикатов и готовых изделий.
1	Коэффициент извлечения примесей	<p>Метод объектно- ориентированных языков программирования с использованием СКЗ и нейросетевых технологий. При разработке программы для этого датчика использовалась библиотека OpenCV (Open Computer Vision) для языка программирования Java.</p> <p>Разработана программа для автоматического контроля в режиме реального времени коэффициента извлечения примесей.</p>  <p>Фрагмент программы Класс Mat используется для хранения изображений.</p>  <p>Бинаризация изображения. Подбор пороговых значений.</p>  <p>Результат применения методов Erode и Dilate Для контроля примесей в сырье использовалась сверточная нейронная сеть</p>  <p>Схема расположения видеокамеры 1 над конвейерной линией 3.</p>

2	Внешний вид сырья и готовых изделий	<p>Использованы: СКЗ, нейросетевые технологии.</p> <p>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 искусственных нейронных сетей, а также с использованием статистических методов. Исследовались 3D – динамические изображения сырья с ленты конвейера.</p>  <p>Учет информации, поступающей с нескольких СКЗ. Разработан функциональный блок модуля автоматического контроля ОПК</p>
3	Угол естественного откоса сыпучих масс	<p>СКЗ, разработана блок-схема алгоритма работы прибора для автоматического определения угла естественного откоса сыпучих пищевых масс в режиме реального времени</p>  <p>Изготовлен макет прибора и проведены экспериментальные исследования его работоспособности</p> 

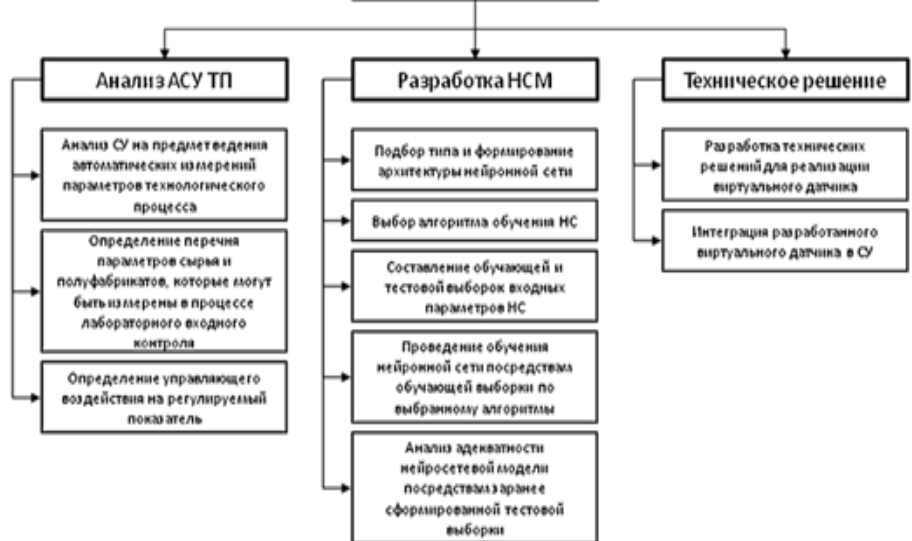
<p>4</p> <p>Блеск поверхности кондитерского изделия</p>	<p>Использовали: СКЗ, фотоэлектрический метод, методы математического моделирования оптической системы.</p>  <p>Разработана принципиальная схема фотоэлектрического датчика автоматического контроля в режиме реального времени блеска поверхности кондитерских изделий разной геометрии.</p>  <p>Получены данные математического моделирования оптической системы, исходя из которых была рассчитана осветительная система.</p>  <p>Смоделирована 3D модель датчика автоматического контроля блеска покрытий кондитерских изделий.</p>  <p>Представлена сборочная 3D модель датчика блеска на 2 угла (с геометрией 45/0/45) в разрезе</p>	<p>На основе СКЗ и НСТ были использованы: микропроцессорный датчик технического зрения ZFV; интеллектуальный датчик F160; система технического зрения F210; скоростная система технического зрения F250; СКЗ F500 и F210ETN; устройства считывания двумерного кода V400 и V530-R160. Был использован язык программирования Python и его библиотека программного обеспечения OpenCV.</p>  <p>Внутренняя архитектура сверточной нейронной сети YOLOv3. Для тестирования нейронной сети, в качестве примера, было взято изображение плитки пористого шоколада</p> 
<p>5</p> <p>Форма и количество изделий на транспортёре</p>	<p>Использовали: СКЗ, фотоэлектрический метод, методы математического моделирования оптической системы.</p>	<p>Использовали: СКЗ, фотоэлектрический метод, методы математического моделирования оптической системы.</p>



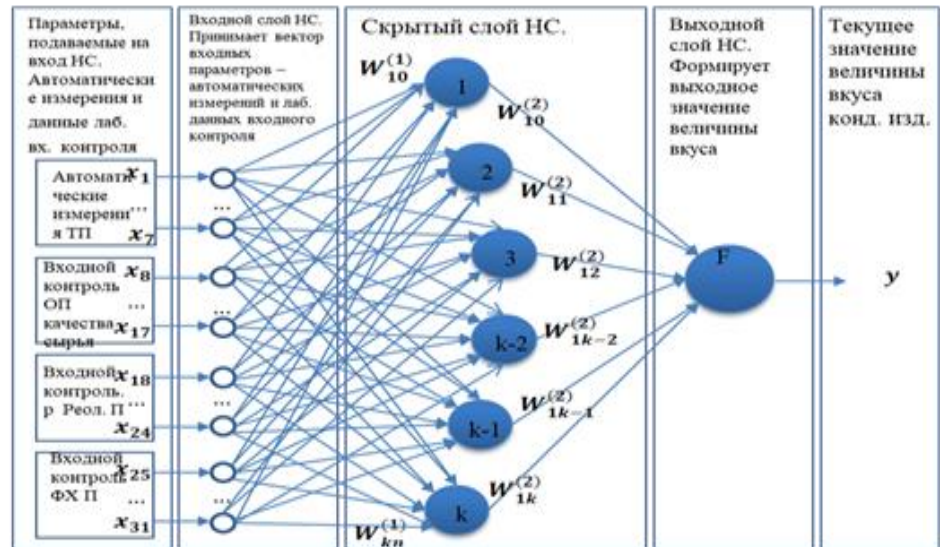
Модель автоматизации мониторинга вкуса

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

Этапы реализации виртуального датчика

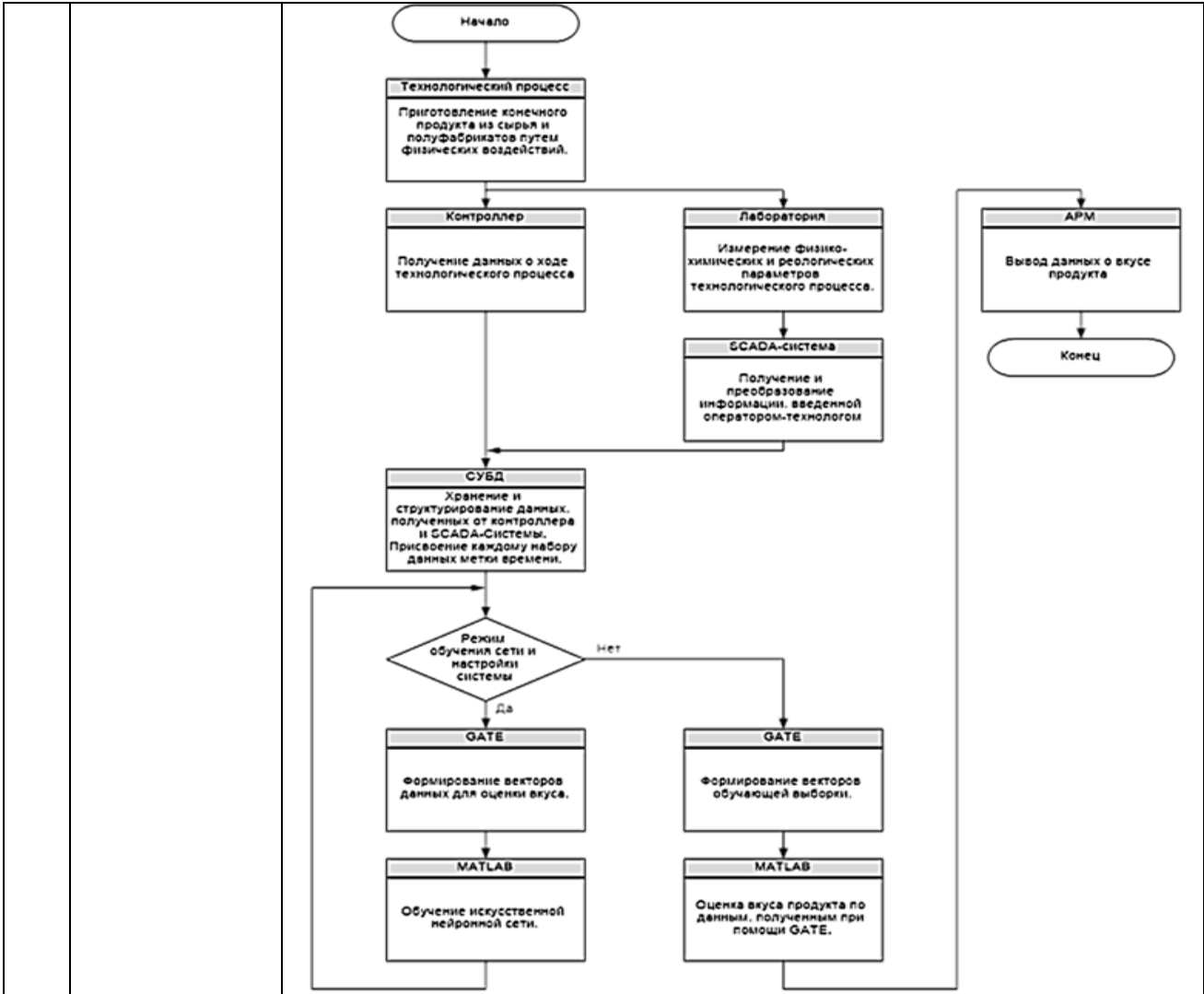


Стадии построения виртуального датчика мониторинга вкуса



Многослойные НС прямого распространения





Программно- аппаратный комплекс автоматического контроля в потоке вкуса кондитерской продукции. Процедура работы.

7 Запах

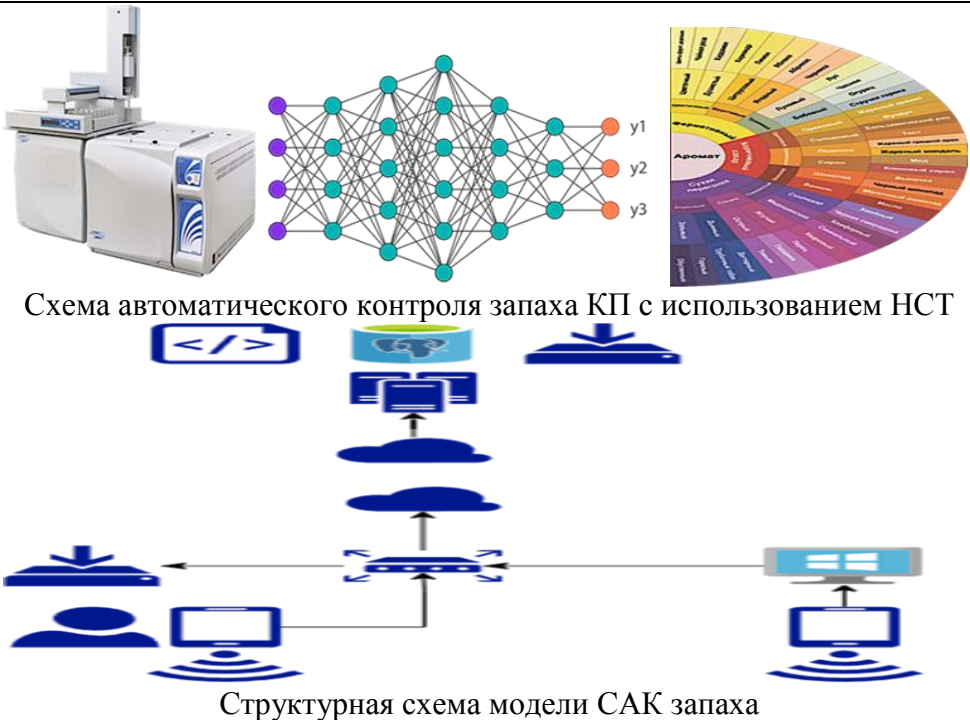


Схема автоматического контроля запаха КП с использованием НСТ

Структурная схема модели САК запаха

Вся система будет разделена на два устройства: сервер и анализатор.



Сервер САК

Анализатор стационарный или мобильный



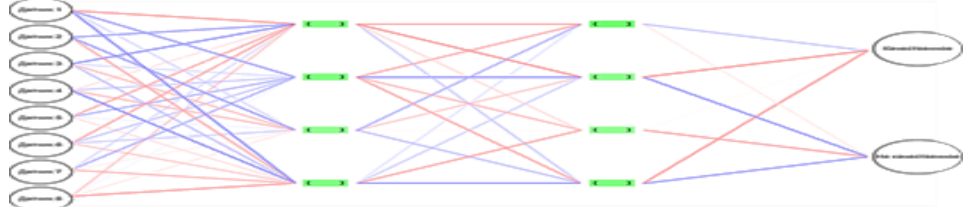
Аппаратная схема интеллектуального анализатора запаха



Кондитерские продукты для экспериментальных исследований



Схема разработанной базы данных для проведения экспериментов



Разработана нейронная сеть

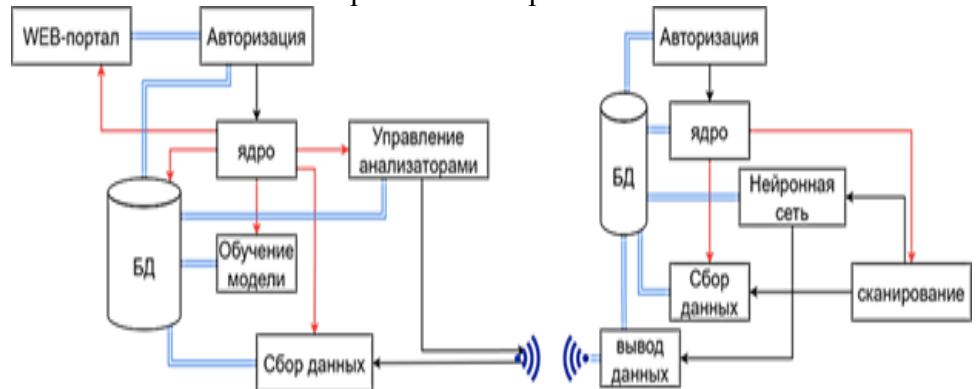


Схема программного обеспечения САК запаха

8

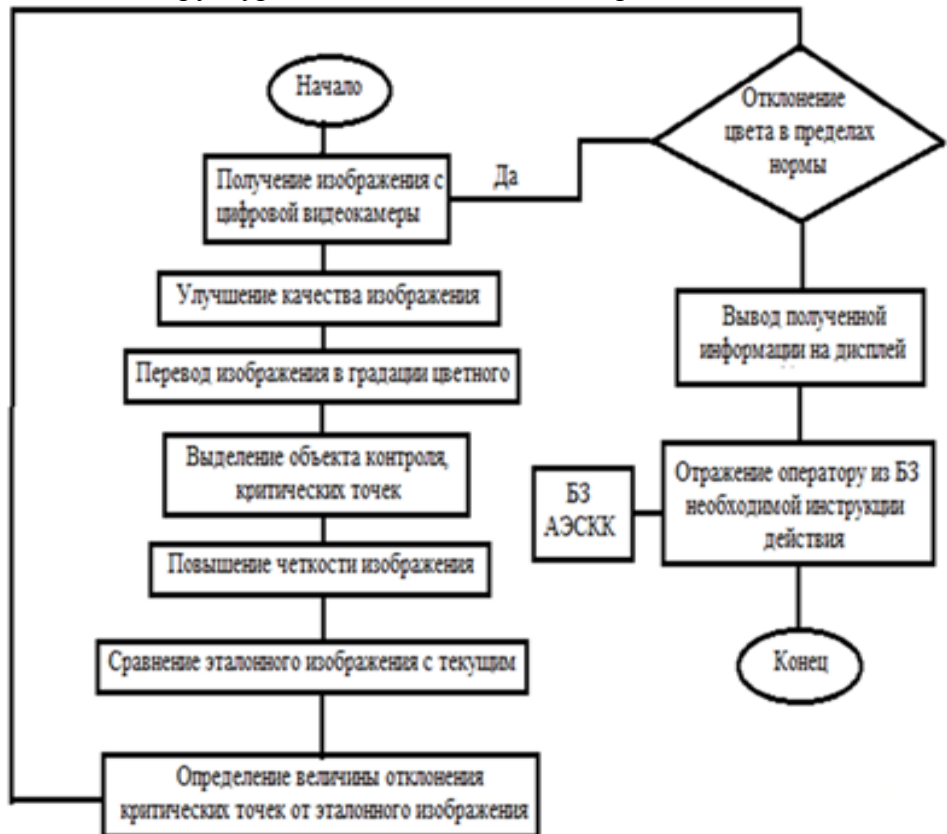
Цвет



. Фотографии цвета различного ассортимента шоколада



Структура ПАК АК цвета кондитерских изделий



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

9 Вязкость

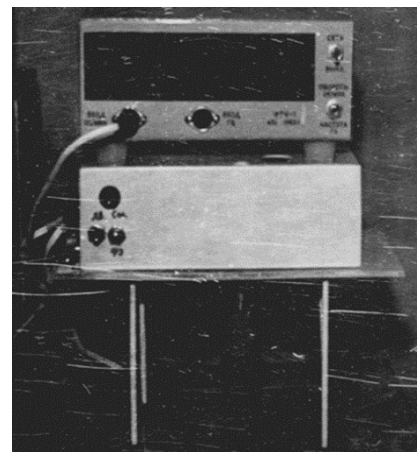
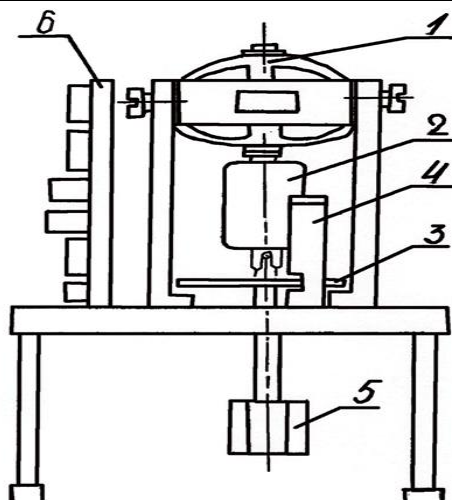
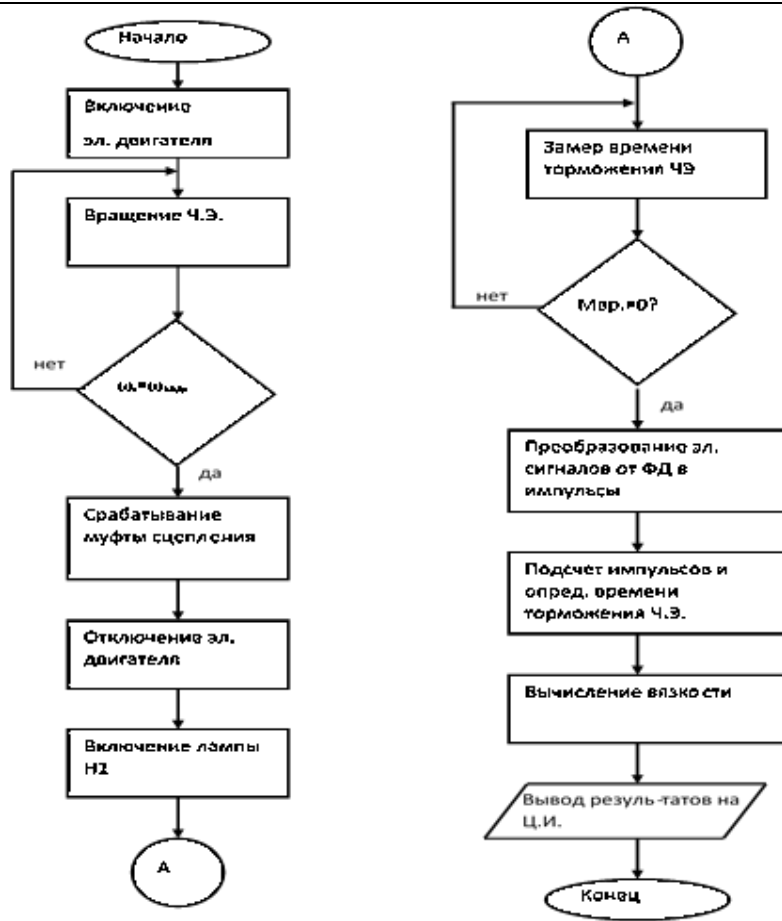
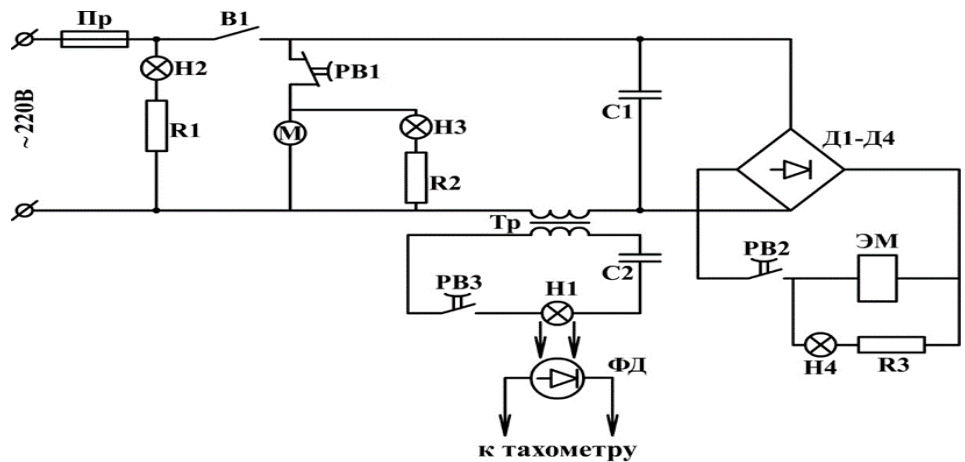


Схема конструкции и макет цифрового ротационного вискозиметра



Блок-схема алгоритма работы цифрового ротационного вискозиметра



ПЭС датчика вязкости ротационного цифрового вискозиметра

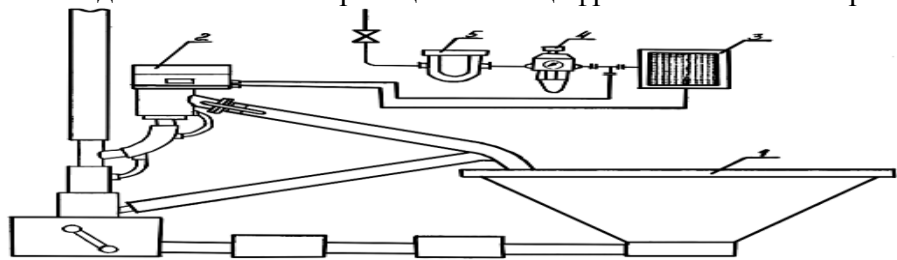
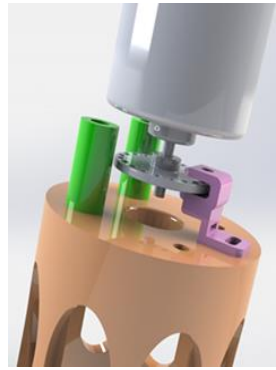
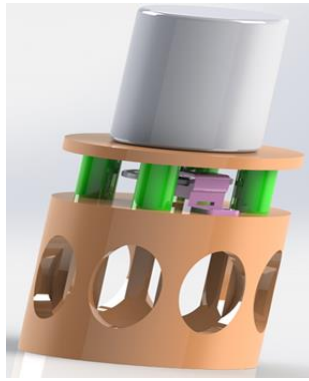


Схема установки автоматического вискозиметра на temperирующей машине



Макет ротационного датчика вязкости

Блок цифровой индикации



Микроконтроллер Arduino Uno

Дисплей LCD 1602

```

#include <LCD_1602_RUS.h>

#define CNT_IMP_INPUT 2
#define BTN_START_INPUT 5
#define BTN_STOP_INPUT 6
#define BTN_MENU_INPUT 7

#define POW_IR_OUTPUT 9
#define UPR_MOTOR_OUTPUT 10
#define UPR_MUFTA_OUTPUT 11

#define REG_ADC A0

volatile long counter = 0;
long counter_last = 0;
boolean flag_delay = true;
String str;

LCD_1602_RUS lcd(0x27, 16, 2);

void init_pins() {
  pinMode(CNT_IMP_INPUT, INPUT_PULLUP);
  pinMode(BTN_START_INPUT, INPUT_PULLUP);
  pinMode(BTN_STOP_INPUT, INPUT_PULLUP);
  pinMode(BTN_MENU_INPUT, INPUT_PULLUP);

  pinMode(POW_IR_OUTPUT, OUTPUT);
  pinMode(UPR_MOTOR_OUTPUT, OUTPUT);
  pinMode(UPR_MUFTA_OUTPUT, OUTPUT);
}

void lcd_init() {
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print(" Вискозиметр ");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(" версия 2.0 ");
}

int change_delay() {
  int delay_s = 0;
  int val = analogRead(REG_ADC);

  delay_s = map(val, 0, 1023, 0, 900);
  delay_s = delay_s ^ 1000;

  return delay_s;
}

void cnt_isr() {
  counter++;
}

```

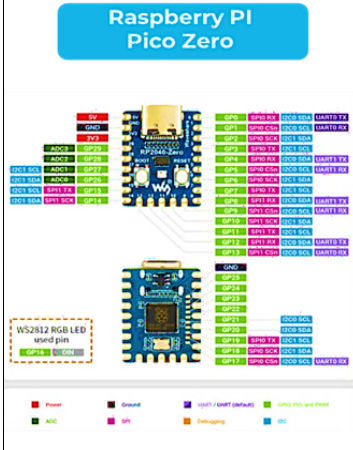
Часть исходного кода алгоритма на языке C



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



Структура вискозиметра с коммуникационными модулями

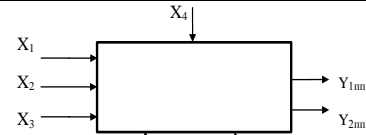
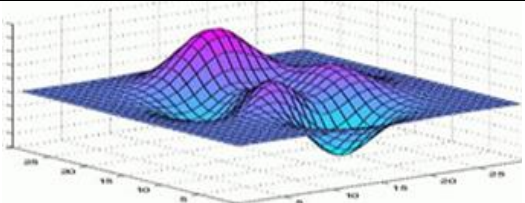
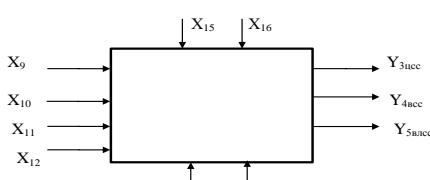
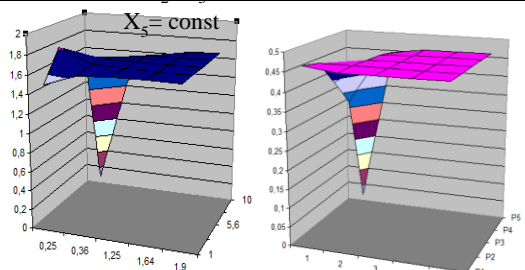
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Вискозиметр</th> <th colspan="2">RP2040</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">Драйвер L298</td> <td>PWM</td> <td>GP4</td> <td>GP4</td> </tr> <tr> <td>DO1</td> <td>GP5</td> <td>GP5</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Модуль реле</td> <td>DO2</td> <td>GP6</td> <td>GP6</td> </tr> <tr> <td>DO3</td> <td>GP7</td> <td>GP7</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Модуль кнопок</td> <td>DO4</td> <td>GP8</td> <td>GP8</td> </tr> <tr> <td>DI1</td> <td>GP9</td> <td>GP9</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Счетчик импульсов</td> <td>DI2</td> <td>GP25</td> <td>GP25</td> </tr> <tr> <td>DI3</td> <td>GP24</td> <td>GP24</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Регулятор скорости двигателя</td> <td>DI4</td> <td>GP23</td> <td>GP23</td> </tr> <tr> <td>DO5</td> <td>GP22</td> <td>GP22</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">LCD</td> <td>ADC</td> <td>ADC2</td> <td>GP28</td> </tr> <tr> <td>I2C SDA</td> <td>I2C1 SDA</td> <td>GP14</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">W5500 1</td> <td>I2C SCL</td> <td>I2C1 SCL</td> <td>GP15</td> </tr> <tr> <td>SPI CS</td> <td>SPI0 CSn</td> <td>GP1</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">W5500 2</td> <td>SPI SCK</td> <td>SPI0 SCK</td> <td>GP2</td> </tr> <tr> <td>SPI RX</td> <td>SPI0 RX</td> <td>GP0</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">W5500 2</td> <td>SPI TX</td> <td>SPI0 TX</td> <td>GP3</td> </tr> <tr> <td>SPI CS</td> <td>SPI1 CSn</td> <td>GP13</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">W5500 2</td> <td>SPI SCK</td> <td>SPI1 SCK</td> <td>GP10</td> </tr> <tr> <td>SPI RX</td> <td>SPI1 RX</td> <td>GP12</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">W5500 2</td> <td>SPI TX</td> <td>SPI1 TX</td> <td>GP11</td> </tr> </tbody> </table>	Вискозиметр		RP2040		Драйвер L298	PWM	GP4	GP4	DO1	GP5	GP5	Модуль реле	DO2	GP6	GP6	DO3	GP7	GP7	Модуль кнопок	DO4	GP8	GP8	DI1	GP9	GP9	Счетчик импульсов	DI2	GP25	GP25	DI3	GP24	GP24	Регулятор скорости двигателя	DI4	GP23	GP23	DO5	GP22	GP22	LCD	ADC	ADC2	GP28	I2C SDA	I2C1 SDA	GP14	W5500 1	I2C SCL	I2C1 SCL	GP15	SPI CS	SPI0 CSn	GP1	W5500 2	SPI SCK	SPI0 SCK	GP2	SPI RX	SPI0 RX	GP0	W5500 2	SPI TX	SPI0 TX	GP3	SPI CS	SPI1 CSn	GP13	W5500 2	SPI SCK	SPI1 SCK	GP10	SPI RX	SPI1 RX	GP12	W5500 2	SPI TX	SPI1 TX	GP11
	Вискозиметр		RP2040																																																																												
Драйвер L298	PWM	GP4	GP4																																																																												
	DO1	GP5	GP5																																																																												
Модуль реле	DO2	GP6	GP6																																																																												
	DO3	GP7	GP7																																																																												
Модуль кнопок	DO4	GP8	GP8																																																																												
	DI1	GP9	GP9																																																																												
Счетчик импульсов	DI2	GP25	GP25																																																																												
	DI3	GP24	GP24																																																																												
Регулятор скорости двигателя	DI4	GP23	GP23																																																																												
	DO5	GP22	GP22																																																																												
LCD	ADC	ADC2	GP28																																																																												
	I2C SDA	I2C1 SDA	GP14																																																																												
W5500 1	I2C SCL	I2C1 SCL	GP15																																																																												
	SPI CS	SPI0 CSn	GP1																																																																												
W5500 2	SPI SCK	SPI0 SCK	GP2																																																																												
	SPI RX	SPI0 RX	GP0																																																																												
W5500 2	SPI TX	SPI0 TX	GP3																																																																												
	SPI CS	SPI1 CSn	GP13																																																																												
W5500 2	SPI SCK	SPI1 SCK	GP10																																																																												
	SPI RX	SPI1 RX	GP12																																																																												
W5500 2	SPI TX	SPI1 TX	GP11																																																																												
	<p>Таблица подключений дополнительных периферийных модулей к микроконтроллеру Raspberry Pi Pico Zero.</p>																																																																														

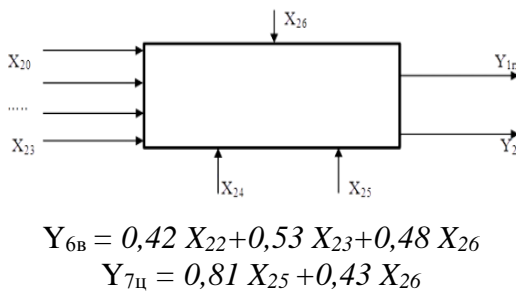
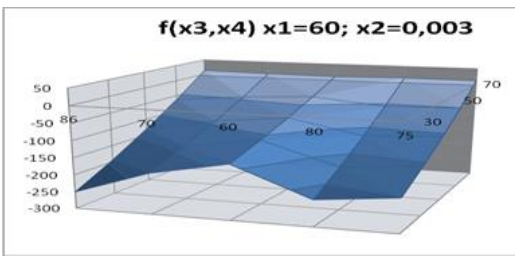
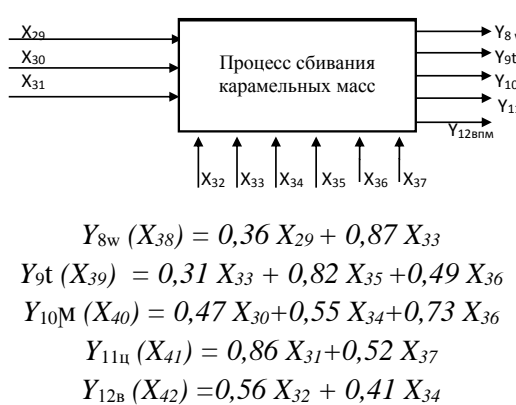
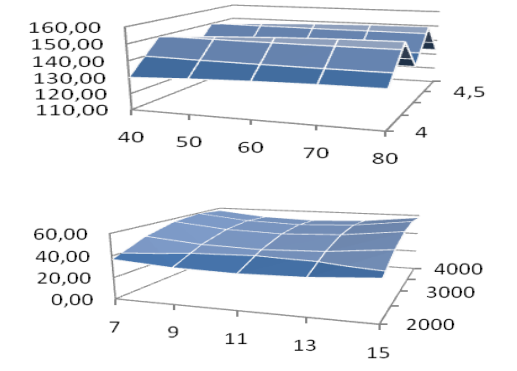
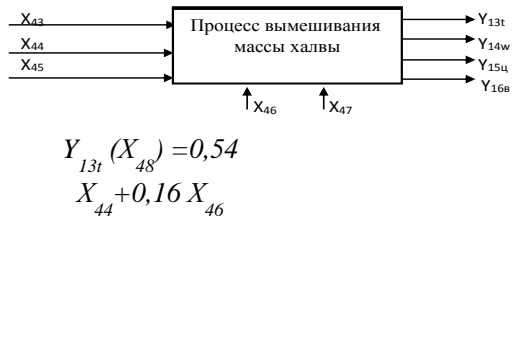
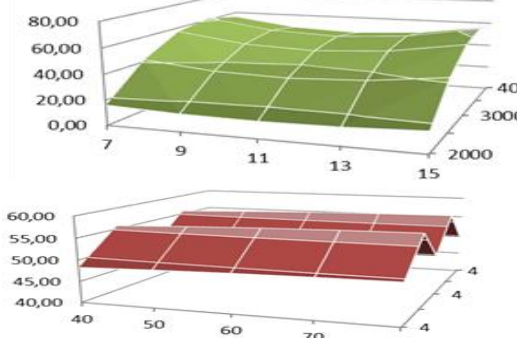
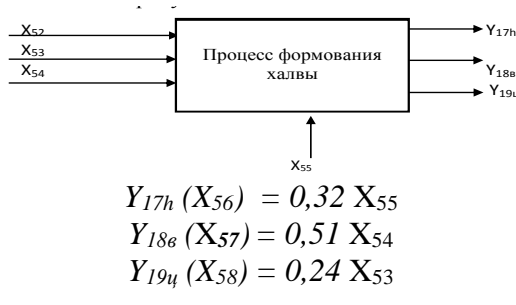
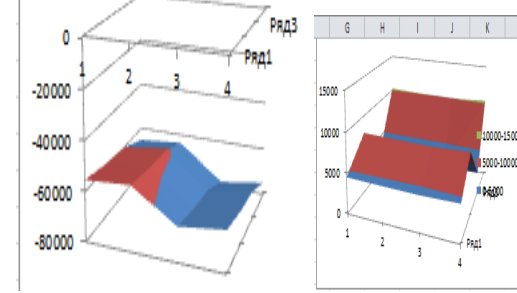
Поданы 3 заявки на способы автоматического контроля запаха, консистенции и вязкости кондитерских масс.

Создание ИАСКиУ возможно лишь при наличии математических моделей ТП производства кондитерской продукции.

Поэтому **четвертая глава** посвящена описанию комплексных экспериментальных исследований, позволивших разработать методологию построения структурно – параметрических моделей (СПМ) основных стадий производства кондитерской продукции, на базе которой получены параметрические и математические модели основных этапов ТП производства шоколада, глазированных помадных и пралиновых конфет, сбивных конфет (суфле, птичье молоко и др.), халвы, мармелада, карамели, зефира, козинак, драже и ириса. В таблице 4.1. приведен пример полученных структурно – параметрических и математических моделей основных этапов ТП производства халвы.

Таблица 4.1

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 style="text-align: center;">$f(X_2, X_3);$</p>
Приготовление сахарного сиропа	 $Y_{3\text{ссс}} = 0,18 X_{13} + 0,44 X_{14}$ $Y_{4\text{всс}} = 0,18 X_{13} - 0,52 X_{15} - 0,64 X_{16}$ $Y_{5\text{авсс}} = 0,74 X_{12} + 0,82 X_{15}$	 <p style="text-align: center;">$f(X_9, X_{15}); X_7 = \text{const}$ $f(X_9, X_7); X_{15} = \text{const}$</p>

<p>Приготовление карамельного сиропа</p>	 $Y_{6B} = 0,42 X_{22} + 0,53 X_{23} + 0,48 X_{26}$ $Y_{7ц} = 0,81 X_{25} + 0,43 X_{26}$	 <p>$f(x_3, x_4) \quad x_1=60; \quad x_2=0,003$</p> <p>$f(X_{20}, X_{23}); \quad X_{25} = \text{const}$</p>
<p>Сбивание карамельной массы</p>	 $Y_{8w}(X_{38}) = 0,36 X_{29} + 0,87 X_{33}$ $Y_{9t}(X_{39}) = 0,31 X_{33} + 0,82 X_{35} + 0,49 X_{36}$ $Y_{10M}(X_{40}) = 0,47 X_{30} + 0,55 X_{34} + 0,73 X_{36}$ $Y_{11ц}(X_{41}) = 0,86 X_{31} + 0,52 X_{37}$ $Y_{12B}(X_{42}) = 0,56 X_{32} + 0,41 X_{34}$	
<p>Вымешивание массы халвы</p>	 $Y_{13t}(X_{48}) = 0,54 X_{44} + 0,16 X_{46}$	
<p>Формование корпусов конфет халвы</p>	 $Y_{17h}(X_{56}) = 0,32 X_{55}$ $Y_{18B}(X_{57}) = 0,51 X_{54}$ $Y_{19ц}(X_{58}) = 0,24 X_{53}$	

Для решения задачи автоматизации управления качеством производства кондитерской продукции необходимо наличие не только структурно-параметрических и математических моделей кондитерской продукции, но и ситуационных моделей, которые позволяют наглядно изучить влияние входных контролируемых и регулируемых параметров, возмущающих воздействий на выходные показатели качества, проследить в процессе производства причинно-следственные влияния параметров друг на друга, дают возможность про-

гнозировать ход исследуемых ТП и определять необходимые при этом режимы работы используемого оборудования.

На основе структурно-параметрических матриц сопоставимых взаимосвязей $C_{i,j}$, где $i,j=1, \dots, n$, и вектора контролируемых отклонений показателей состояния Δx_i формируется ситуационная модель ТП (ситуационная матрица):

$$\begin{pmatrix} \Delta x_1, & c_{12}\Delta x_2, & \dots, & c_{1n}\Delta x_n \\ c_{21}\Delta x_1, & \Delta x_2, & \dots, & c_{2n}\Delta x_n \\ \dots, & \dots, & \dots, & \dots \\ c_{n1}\Delta x_1, & c_{n2}\Delta x_2, & \dots, & \Delta x_n \end{pmatrix} \quad (4.1)$$

где $\Delta x_i = \frac{x_i - x_i^0}{\Delta x_i^0}$ – вектор текущих относительных отклонений;

x_i, x_j^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 отобраны наиболее 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 СПМ 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 и разных типов. В таблицах 4.2 – 4.11 представлены разработанные СМ в форме квадратной обобщенной матрицы функциональных взаимосвязей показателей качества кондитерских изделий, где числовые значения, записанные обычным курсивом, показывают характер связей («+» - подчеркнутым показывают нахождение новых связей, а символ (Ø) означает опровержение оценок эксперта). Полученные ситуационные модели дают возможность проследить причинно - следственные влияния параметров друг на друга и на показатели качества продукта с формализацией алгоритмов диагностики и прогнозирования состояний ТП и качества готовой продукции, полуфабрикатов и сырья на каждой стадии производства пищевых продуктов.

Структурно-параметрическая матрица функциональных связей показателей качества помадных конфет на основных стадиях производства

Таблица 4.2

Основные стадии ТП		подготовка сырья к производству		приготовление сахарного сиропа			приготовление помадного сиропа		сбивание помадной массы				приготовление конфетной массы				формование помадной массы			глазирование корпусов конфет				
		x7	x8	x17	x18	x19	x27	x28	x38	x39	x40	x41	x42	x48	x49	x50	x51	x56	x57	x58	x69	x70		
подготовка сырья к производству	x7 (Величина кристаллов сахара)	1																						
	x8 (Цвет сахарного песка)		1																					
приготовление сахарного сиропа	x17 (Цвет сахарного сиропа)			1																				
	x18 (Величина кристаллов сахара в сиропе)				1																			
	x19 (Влажность сахарного сиропа)					1																		
приготовление помадного сиропа	x27 (Цвет готового помадного сиропа)						1																	
	x28 (Величина кристаллов сахара в помадном сиропе)							1																
сбивание помадной массы	x38 (температура на выходе помадной массы)								+	1														
	x39 (влажность готовой помадной массы)					+			+	1														
	x40 (вязкость полученной помадной массы)		+								+	1												
	x41 (Цвет помадной массы после сбивания)												1											
приготовление конфетной массы	x42 (Величина кристаллов сахара после сбивания)										+	+	1											
	x48 (температура конфетной массы)												+		+	1								
	x49 (доля сухих веществ в конфетной массе)												+		+		1							
	x50 (цвет конфетной массы)												+		+			1						
формование помадной массы	x51 (величина кристаллов сахара в конфетной массе)																		1					
	x56 (высота конфетного жгута)																			+	1			
	x57 (величина кристаллов сахара в конфетной массе)																				+	1		
глазирование корпусов конфет	x58 (цвет конфетных масс)																					+	1	
	x69 (толщина покрытия помадных конфет глазурью)																						+	1
	x70 (форма конфеты)																						+	1

Таблица 4.3

Структурно-параметрическая матрица функциональных связей показателей качества халвы на основных стадиях ТП

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				
		Y1 (X1)	Y2 (X2)	Y3 (X17)	Y4 (X18)	Y5 (X19)	Y6 (X27)	Y7 (X28)	Y8 (X38)	Y9 (X39)	Y10 (X40)	Y11 (X41)	Y12 (X42)	Y13 (X48)	Y14 (X49)	Y15 (X50)	Y16 (X51)	Y17 (X56)	Y18 (X57)	Y19 (X58)	
I. Подготовка сырья к производству	Y1 (X1) - % извл. прим	1	+	+	+	+	+														
	Y2 (X2) вн. вид		1	+	+	+	+														
II. Приготовление сахарного сиропа	Y3 (X17) цвет			1	+	+	+														
	Y4 (X18) вкус				1	+	+														
III. Приготовление карамельного сиропа	Y5 (X19) влажность					1	+	+	+	+											
	Y6 (X27) цвет						1				+										
IV. Уваривание и сбивание карамельной массы	Y7 (X28) вкус							1													
	Y8 (X38) влажность кар. м.								1												
	Y9 (X39) T									1											
	Y10 (X40) вязкость										1										
V. Вымешивание халвы	Y11 (X41) цвет											1									
	Y12 (X42) вкус												1								
	Y13 (X48) температура													1							
	Y14 (X49) влажность														1						
VI. Формование халвы	Y15 (X50) цвет															1					
	Y16 (X51) вкус																1				
	Y17 (X56) высота халвы																	1			
	Y18 (X57) вкус																		1		
	Y19 (X58) цвет																			1	

Таблица 4.4

Структурно-параметрическая матрица функциональных связей показателей качества шоколада на основных стадиях ТП

Основные стадии ТП производства шоколада	Вых. Пар.	I			II		III		IV		V		VI		VII		VIII		IX		X		XI				
		Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇	Y ₈	Y ₉	Y ₁₀	Y ₁₁	Y ₁₂	Y ₁₃	Y ₁₄	Y ₁₅	Y ₁₆	Y ₁₇	Y ₁₈	Y ₁₉	Y ₂₀	Y ₂₁	Y ₂₂	Y ₂₃	Y ₂₄	Y ₂₅	Y ₂₆
I. ТП хранения какао бобов (к.б.)	Y _{1 кб}	1																									
	Y _{2 кб}		1																								
	Y _{3 кб}	⊙	⊕	1																							
II ТП очистки и сортировки к.б.	Y _{4 кб}	⊙	∅	⊙	1																						
	Y _{5 кб}	∅	⊙	⊙	∅	1																					
III. ТП обжарки к.б.	Y _{6 кб}	⊙	⊕		⊙	⊙	1																				
	Y _{7 кб}	⊙	⊙	⊕	⊕	⊙	⊙	1																			
IV ТП охлаждения к.б.	Y _{8 кб}	⊙	∅		⊙	⊙	⊙	∅	1																		
	Y _{9 кб}	⊕	⊙	⊕	∅	⊙	⊕	⊙	∅	1																	
V ТП дробления к.б.	Y _{10 кб}	⊙	⊕	⊕	⊙	∅	⊙	⊕	⊙	∅	1																
	Y _{11 кб}	⊕	⊙	⊙	⊕	⊙	⊕	⊙	⊕	⊙	∅	1															
VI ТП получение какао тертого	Y _{12 кт}	⊙	∅	⊙	⊕	⊙	⊙	∅	⊙	∅	⊙	⊙	1														
	Y _{13 кт}	∅	⊙	⊕	∅	⊙	∅	∅	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	1													
VII ТП получения к.масла	Y _{14 км}	∅	⊙	⊙	∅	⊙	∅	∅	⊙	⊙	⊕	⊙	⊙	1													
VIII. ТП смешивания	Y _{15 с}	⊙	⊙	⊙	⊕	⊙		⊕		⊙	⊕	⊙	⊙	⊙	1												
	Y _{16 с}	⊙	⊙	∅	⊕	⊙		⊕		⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	1											
	Y _{17 см}	⊙	⊕	⊕	⊙	⊙		⊙		⊙	⊙	⊕	⊕	⊙	⊙	⊕	⊙	1									
IX. ТП развода, гомогенизации и конширования ш. м.	Y _{18 шм}	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	∅		∅		⊙	⊕	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	1								
	Y _{19 шм}	∅	⊙	∅		⊕		⊕			⊕	⊙	⊙	⊕	⊙	⊙	⊕	⊙	⊙	1							
	Y _{20 шм}	∅	⊕	∅		⊕		⊕			⊙	⊕	⊕	⊕		⊙	⊕			1							
X. ТП темперирования ш.м.	Y _{21 ш}	⊕	⊙	⊙	⊕	⊙		⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	∅		1					
XI. ТП формования плиток шоколада	Y _{22 ш}	⊕	⊙	∅	⊕	⊕		⊙		⊙	∅	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	1				
	Y _{23 ш}	∅	⊕	∅		∅		∅			∅	⊕		⊙	⊕		⊙	⊕		∅	∅	1					
	Y _{24 ш}	⊙	⊕	⊙	⊙	⊙		⊙		⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙		⊙		⊙	1
	Y _{25 ш}	⊙	⊙	⊕	⊕						⊙	⊙	⊕	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙				1
	Y _{26 ш}	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙		⊙		⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊕	⊕	⊙	⊙

Таблица 4.5

Структурно-параметрическая матрица функциональных связей показателей качества драже на основных стадиях ТП

Основные стадии ТП пр-ва карамели	Вых. параметр	I					II		III						
		Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇	Y ₈	Y ₉	Y ₁₀	Y ₁₁	Y ₁₂	Y ₁₃	Y ₁₄
I. ТП приготовления СП сиропа	Y _{1с}	1													
	Y _{2с}		1												
	Y _{3с}			1											
II. ТП накатки	Y _{4с}	⊙	⊙	⊙	1										
	Y _{5с}	⊙	⊙	⊙	⊙	1									
III. ТП глянцеваия и сушки драже	Y _{6мк}				⊙	⊙	1								
	Y _{7мк}		⊙		⊕	⊙	⊙	1							
	Y _{8мк}		∅		⊙	⊙	⊙	⊙	1						
	Y _{9мк}	∅	⊙	⊕	⊙	⊙	⊕	⊙	∅	1					
	Y _{10мк}		⊕		⊙	⊙	⊕	⊕	⊙	⊙	1				
	Y _{11мк}		⊙		⊕	⊕	⊕	∅		⊙	∅	1			
	Y _{12мк}		∅	⊙	⊕	⊕				⊙			1		
Y _{13мк}	⊙	⊙		∅	⊕				⊙					1	
Y _{14т}	∅	⊙		⊙	⊙	⊕	⊙	∅	⊙	⊙	∅	∅	∅	∅	1

Таблица 4.6

Структурно-параметрическая матрица функциональных связей показателей качества сбивных конфет (суфле) на основных стадиях ТП

Основные стадии ТП пр-ва сбивных конфет	Вых. параметр	I					II					III				IV		V					
		Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇	Y ₈	Y ₉	Y ₁₀	Y ₁₁	Y ₁₂	Y ₁₃	Y ₁₄	Y ₁₅	Y ₁₆	Y ₁₇	Y ₁₈	Y ₁₉	Y ₂₀	Y ₂₁	Y ₂₂
I. ТП приготовления сырья к пр-ву сбивных конфет	Y _{1с}	1																					
	Y _{2с}		1																				
	Y _{3с}			1																			
	Y _{4с}	∅	∅	⊕	1																		
	Y _{5с}	⊕	⊕	⊕	⊕	1																	
II. ТП приготовления сбивной массы	Y _{6см}	⊕			⊕	⊕	1																
	Y _{7см}		⊕	⊕	⊕	⊕		1															
	Y _{8см}				⊕	⊕		∅	1														
	Y _{9см}	⊕	∅	⊕	⊕	⊕		⊕	⊕	1													
III ТП формования сбивного слоя конфет	Y _{10ф}				⊕	⊕				⊕	1												
	Y _{11ф}		⊕		⊕	⊕		⊕		⊕		1											
	Y _{12ф}	⊕			⊕	⊕		∅	⊕			⊕	1										
	Y _{13ф}	⊕			∅	⊕	⊕			⊕	⊕			1									
	Y _{14ф}	∅	⊕	⊕	⊕	⊕				⊕	⊕		⊕		1								
IV. ТП охлаждения	Y _{15ок}	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕		⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	1								
	Y _{16ок}				⊕	⊕	⊕			⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	1							
V. ТП глазирования корпусов сбивных конфет	Y _{17гк}		⊕		⊕	⊕		⊕	⊕	⊕				⊕	⊕		1						
	Y _{18гк}	⊕			∅	⊕		⊕		⊕				⊕	⊕	⊕	⊕	1					
	Y _{19гк}			⊕	⊕	⊕	⊕		⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕					1				
	Y _{20гк}				⊕	⊕				⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕					1		
	Y _{21гк}				⊕	⊕				⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕		⊕	⊕	∅	1		
	Y _{22гк}				⊕	⊕				⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	1

Таблица 4.7

Структурно-параметрическая матрица функциональных связей показателей качества мармелада на основных стадиях ТП

Основные стадии ТП пр-ва мармелада	Вых. параметр	I					II					III				IV						
		Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇	Y ₈	Y ₉	Y ₁₀	Y ₁₁	Y ₁₂	Y ₁₃	Y ₁₄	Y ₁₅	Y ₁₆	Y ₁₇	Y ₁₈	Y ₁₉	Y ₂₀	Y ₂₁
I. ТП приготовления ПСП сиропа	Y _{1с}	1																				
	Y _{2с}		1																			
	Y _{3с}			1																		
	Y _{4с}	⊕	∅	⊕	1																	
	Y _{5с}	∅	⊕	⊕	⊕	1																
II. ТП приготовления мармеладной массы	Y _{6мм}	⊕			⊕	⊕	1															
	Y _{7мм}		⊕	⊕	⊕	⊕		1														
	Y _{8мм}				⊕	⊕			1													
	Y _{9мм}	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	∅	1													
	Y _{10мм}	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	∅	1												
	Y _{11мм}	⊕	⊕	⊕		⊕	⊕	⊕	⊕		1											
	Y _{12мм}	⊕	∅	⊕	⊕	⊕	⊕	∅	∅	⊕		1										
	Y _{13мм}	∅	⊕	⊕	⊕	⊕	∅	∅	∅	⊕	⊕		1									
III ТП темперирования	Y _{14т}	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	∅	∅	⊕	⊕	⊕	⊕	1									
	Y _{15т}	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕		⊕	⊕	⊕	⊕	1								
IV. ТП формования мармелада	Y _{16ок}		∅	⊕	⊕		⊕			⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	1							
	Y _{17гк}		⊕		⊕	⊕			⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕		1						
	Y _{18гк}	⊕			⊕	⊕	∅		∅		⊕	⊕	⊕	⊕	⊕			1				
	Y _{19гк}			∅	⊕	⊕				⊕	⊕	⊕	⊕	⊕				⊕	1			
	Y _{20гк}			∅	⊕	⊕				⊕	⊕	⊕	⊕	⊕					⊕	1		
Y _{21гк}	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕		⊕		⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	1	

Таблица 4.8

Структурно-параметрическая матрица функциональных связей показателей качества карамели на основных стадиях ТП

Основные стадии ТП пр-ва карамели	Вых. параметр	I					II						III						IV					
		Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇	Y ₈	Y ₉	Y ₁₀	Y ₁₁	Y ₁₂	Y ₁₃	Y ₁₄	Y ₁₅	Y ₁₆	Y ₁₇	Y ₁₈	Y ₁₉	Y ₂₀	Y ₂₁	Y ₂₂	Y ₂₃
I. ТП приготовления СП сиропа	Y _{1c}	1																						
	Y _{2c}		1																					
	Y _{3c}			1																				
	Y _{4c}	⊕	⊖	⊕	1																			
Y _{5c}	⊖	⊕	⊕	⊕	1																			
II. ТП приготовления карамельной массы - уваривание	Y _{6м}	⊕			⊕	⊕	1																	
	Y _{7м}		⊕		⊕	⊕		1																
	Y _{8м}			⊕	⊕	⊕			1															
	Y _{9м}	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊖	⊕	⊖	1														
	Y _{10м}	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	1													
	Y _{11м}	⊕	⊕	⊕		⊕		⊕				1												
III. ТП охлаждения и обработки карамельной массы	Y _{12м}	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	1												
	Y _{13м}	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊖	⊕		⊕	⊕	⊕	1											
	Y _{14т}	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	1										
	Y _{15т}	⊕	⊕			⊕	⊕			⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	1									
IV. ТП формования и охлаждения карамели.	Y _{16ок}		⊕			⊕		⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕		1								
	Y _{17к}		⊕		⊕			⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕			1							
	Y _{18к}		⊕		⊕			⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕		⊕		1						
	Y _{19к}			⊕		⊕			⊕	⊖		⊕	⊕	⊕	⊕		⊕			1				
	Y _{20к}	⊕				⊕	⊕			⊕			⊕	⊕	⊕	⊕					1			
	Y _{21к}	⊖			⊕	⊕				⊕	⊕		⊕	⊕	⊕							1		
Y _{22к}	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕		⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕		⊕		⊕	⊕	⊕	1			
Y _{23к}	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊖	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	1	

Таблица 4.9

Структурно-параметрическая матрица функциональных связей показателей качества зефира на основных стадиях ТП

Основные стадии ТП пр-ва зефира	Вых. параметр	I					II						III						IV					
		Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇	Y ₈	Y ₉	Y ₁₀	Y ₁₁	Y ₁₂	Y ₁₃	Y ₁₄	Y ₁₅	Y ₁₆	Y ₁₇	Y ₁₈	Y ₁₉	Y ₂₀	Y ₂₁		
I. ТП приготовления АСП сиропа	Y _{1c}	1																						
	Y _{2c}		1																					
	Y _{3c}			1																				
	Y _{4c}	⊕	⊕	⊖	1																			
Y _{5c}	⊕	⊕	⊕	⊕	1																			
II. ТП приготовления зефирной массы -	Y _{6м}	⊕			⊕	⊕	1																	
	Y _{7м}		⊕		⊕	⊕		1																
	Y _{8м}			⊕	⊕	⊕			1															
	Y _{9м}	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊖	1														
Y _{10м}	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	1														
III. ТП формования зефира	Y _{11ф}				⊕	⊕			⊕	⊕	1													
	Y _{12ф}		⊕		⊕	⊕		⊖	⊖	⊕		1												
	Y _{13ф}	⊖			⊖	⊕			⊕	⊕	⊕	⊕	1											
	Y _{14ф}				⊕	⊕	⊕			⊕	⊕			1										
Y _{15ф}	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	1										
IV. ТП структурообразования и приготовления зефира.	Y _{16гз}	⊕	⊕	⊖	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	1								
	Y _{17гз}	⊕			⊕	⊕			⊕	⊕		⊕	⊕		⊕	⊕	1							
	Y _{18гз}	⊕			⊕	⊖	⊕			⊕	⊕		⊕	⊕	⊕	⊕		1						
	Y _{19гз}		⊕		⊕	⊕		⊕		⊕	⊕	⊖			⊕	⊕			1					
	Y _{20гз}			⊕	⊕	⊕			⊕	⊕	⊖				⊕	⊕				1				
	Y _{21гз}	⊕	⊕	⊖	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊖	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	1		

Таблица 4.10

Структурно-параметрическая матрица функциональных связей показателей качества козинак на основных стадиях ТП

Основные стадии ТП пр-ва карамели	Вых. параметр	I		II			III		IV				V						
		Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇	Y ₈	Y ₉	Y ₁₀	Y ₁₁	Y ₁₂	Y ₁₃	Y ₁₄	Y ₁₅	Y ₁₆	Y ₁₇	Y ₁₈
I. ТП сеп-ния СП	Y _{1с}	1																	
	Y _{2с}	⊙	1																
II ТП приг сахарного сиропа	Y _{3п}	⊙	⊙																
	Y _{4п}	⊙	∅	⊙	1														
III ТП приг кар. сиропа	Y _{5к}	⊕		⊙	⊕	1													
	Y _{6к}	⊙	⊕			⊙	1												
IV. ТП вымешивания карамельной массы с СП	Y _{7к}	⊙	⊙	⊕	⊙	⊙		1											
	Y _{8к}	⊕	⊙		⊙	⊙	⊕	⊙	⊙	1									
V. ТП формирования конфет козинак	Y _{9к}	⊕	⊕	⊙		∅	⊙	⊙	⊙		1								
	Y _{10к}	⊙	⊕	⊙		∅	⊙	⊙	⊙	∅	1								
V. ТП формирования конфет козинак	Y _{11к}	⊕	⊙		⊙	⊙	⊕	⊙	⊕	⊙	∅	1							
	Y _{12к}	∅	∅			⊙			⊙	⊙			1						
	Y _{13к}	⊙	⊙		⊙	⊙			⊙	⊙	⊙		⊙	1					
	Y _{14г}	⊙	⊙	⊙		⊙	⊙		⊙	⊙	⊙				1				
	Y _{15г}		⊙			⊙			⊙	⊙						1			
	Y _{16ок}	⊙	⊙			⊙			⊙	⊙			⊙				1		
V. ТП формирования конфет козинак	Y _{17гк}	⊙	⊕	⊙	⊙	⊙			⊙	⊙	⊙	∅	⊕	⊕	⊙	⊙	⊕	⊙	1
	Y _{18к}	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	∅	⊙	⊙	⊙	⊙	⊕	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙

Таблица 4.11

Структурно-параметрическая матрица функциональных связей показателей качества ириса на основных стадиях ТП

Основные стадии ТП пр-ва ириса	Вых. параметр	I					II						III							
		Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇	Y ₈	Y ₉	Y ₁₀	Y ₁₁	Y ₁₂	Y ₁₃	Y ₁₄	Y ₁₅	Y ₁₆	Y ₁₇	Y ₁₈	Y ₁₉
I. ТП приготовления СП сиропа	Y _{1с}	1																		
	Y _{2с}	⊙	1																	
	Y _{3с}	⊙	⊕	1																
	Y _{4с}	⊙	∅	⊙	1															
II. ТП приготовления ирисной массы – уваривание и охлаждение	Y _{5с}	∅	⊕	⊙	∅	1														
	Y _{6к}	⊙	⊕	⊙	⊙		1													
	Y _{7к}	⊙	⊙	⊕				1												
	Y _{8к}	⊙	∅	∅		⊙			1											
	Y _{9к}	⊕	⊙	⊕	∅	⊙	⊕	⊙	⊙	1										
	Y _{10к}	⊙	⊕	⊕	⊙	⊙	⊙	⊕	⊙	⊙	1									
III. ТП формирования и обработки ирисной массы	Y _{11к}	⊙	⊙	⊙	⊕	⊙	⊕	⊙	⊕	⊙	⊙	1								
	Y _{12к}	⊙	⊙	⊙	⊕	⊙	⊙	⊕	⊙	⊙	⊙	⊙	1							
	Y _{13гк}	⊙	⊙	⊕	⊙	⊙	⊙	⊙	∅	⊙	⊙	⊙	⊙	1						
	Y _{14гк}	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊕	⊙	⊙	⊕	⊙	⊙	1					
	Y _{15гк}	⊙	⊕	⊙	⊙		⊙		⊕	⊕	⊙	⊕	⊙	⊙	⊙	1				
	Y _{16гк}	⊙	⊕	⊙					∅	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊕	1			
III. ТП формирования и обработки ирисной массы	Y _{17гк}	⊙	⊕	⊕		⊙			⊙		⊙	⊕	⊕	⊙	⊙			1		
	Y _{18гк}	⊕	⊙	⊙					⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	∅	∅	⊕	1	
	Y _{19гк}	⊙	⊙	⊙	∅		∅			⊙	⊙	⊕	⊙	⊙	⊙			∅	⊙	1

Полученные результаты позволяют перейти к мультиагентному имитационному моделированию процессов производства кондитерской продукции, необходимому для решения поставленной цели - создания интеллектуальной авто-

матризированной системы управления качеством 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 4.1 в качестве примера представлена разработанная имитационная модель процесса производства халвы с использованием программного обеспечения (ПО) AnyLogic.

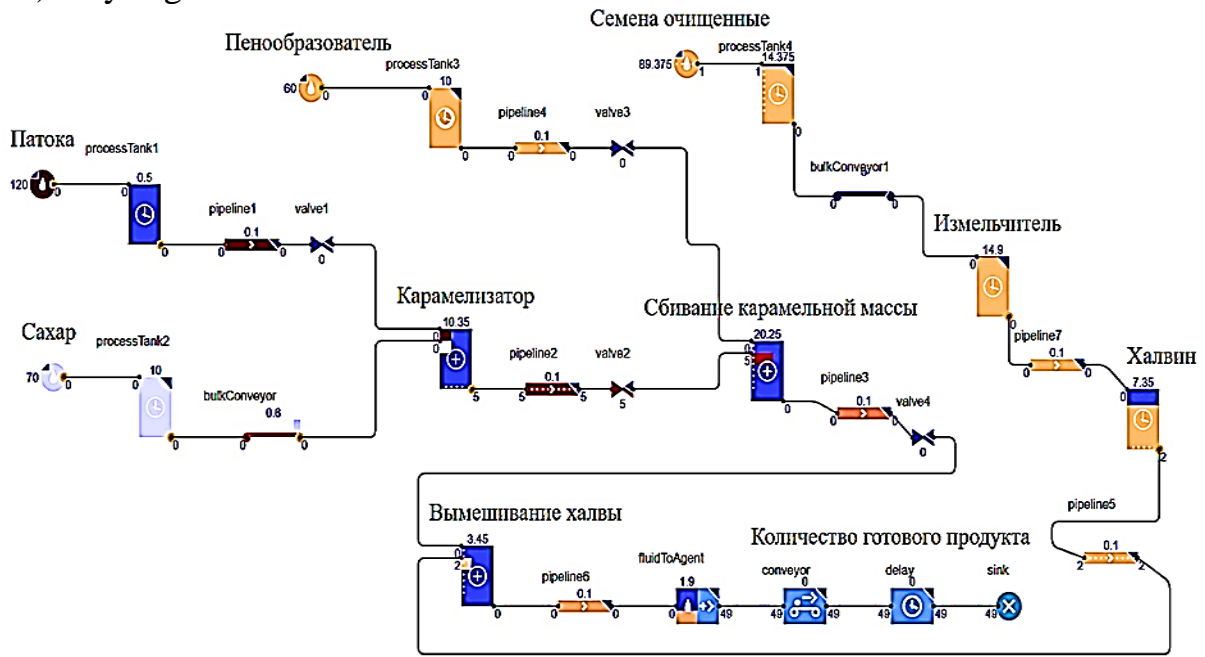


Рисунок 4.1. Имитационная модель процесса производства халвы
 На рисунке 4.2 представлена разработанная модель производства халвы в

виде двумерной графики.

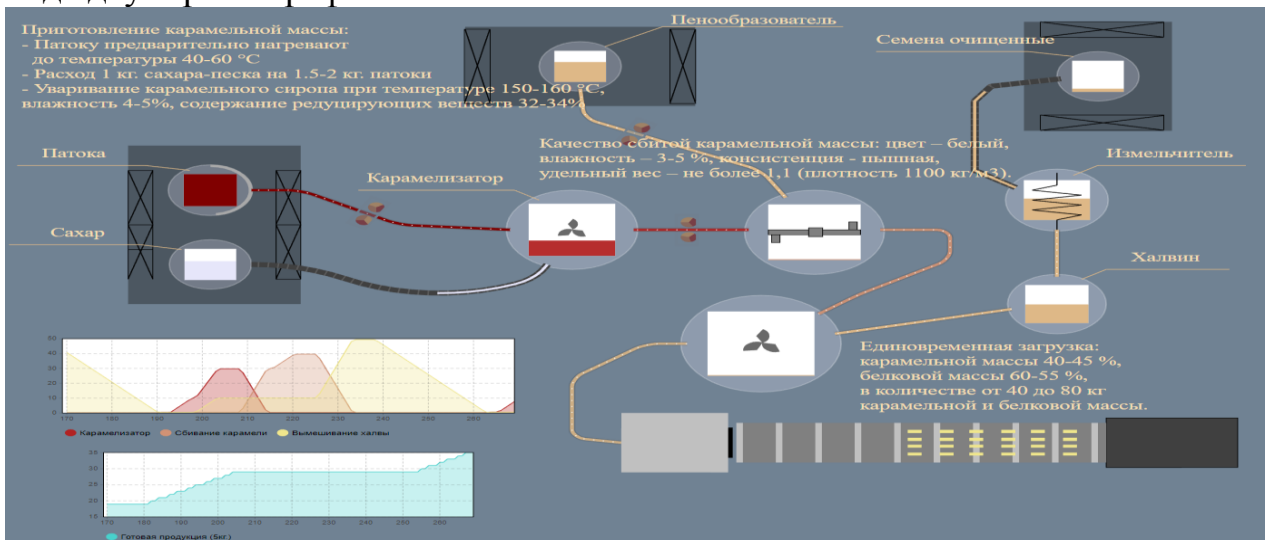


Рисунок 4.2. Модель производства халвы в формате двумерной графики

В качестве еще одного примера на рисунке 4.2 показана построенная мультиагентная имитационная модель ТП приготовления мармеладных конфет, позволяющая более детально проанализировать существующее производство.

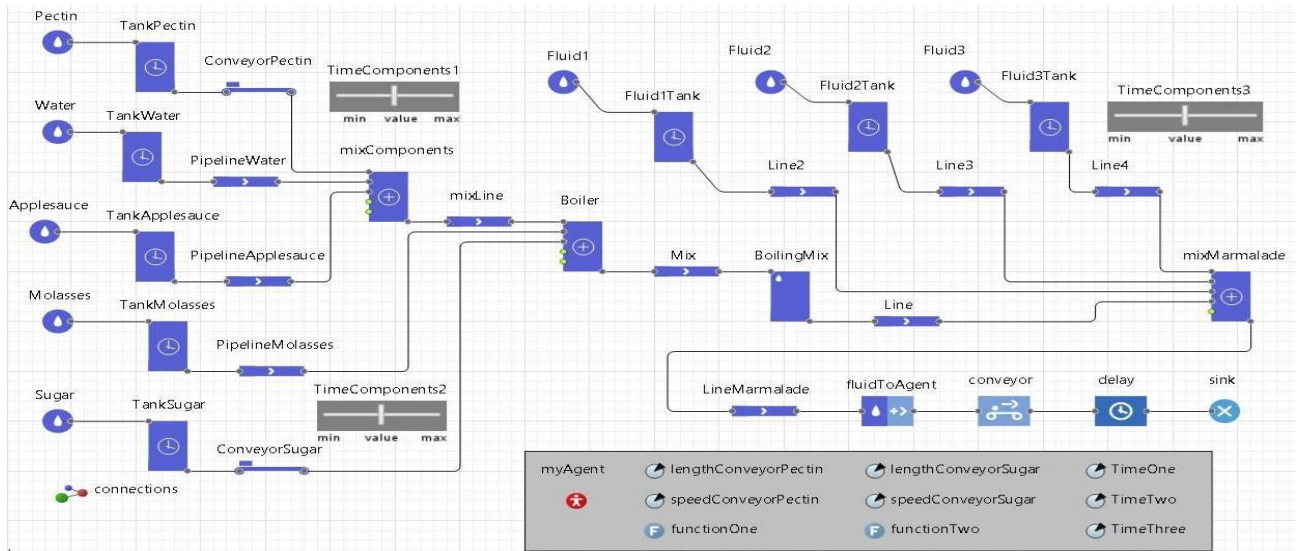


Рисунок 4.2. Мультиагентная имитационная модель процесса производства мармеладных конфет

Стандартный формат воспроизведенной модели представлен на рисунке 4.3.

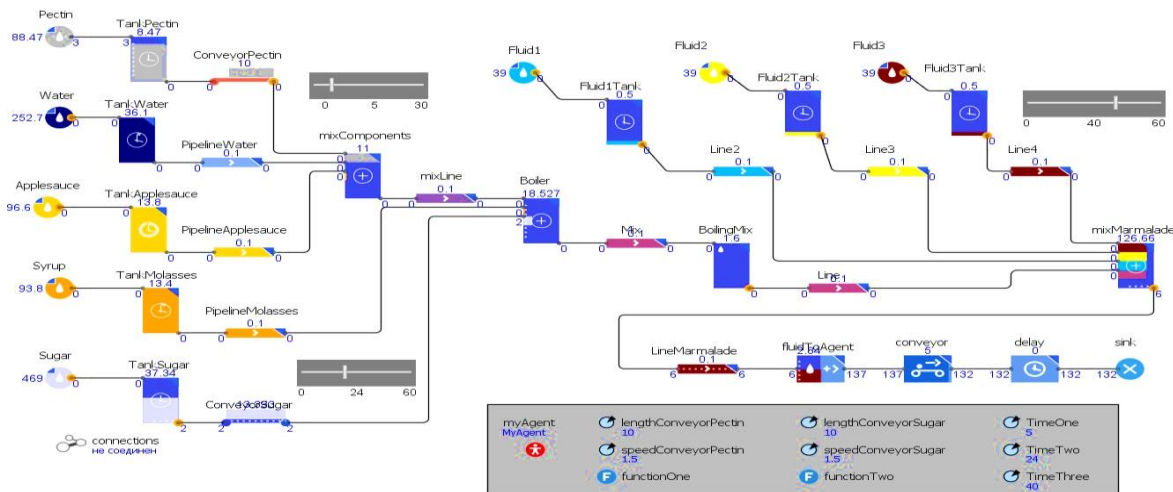


Рисунок 4.3. Стандартный формат воспроизведенной модели

Модель производства мармелада в формате двумерной графики представлена на рисунке 4.4.

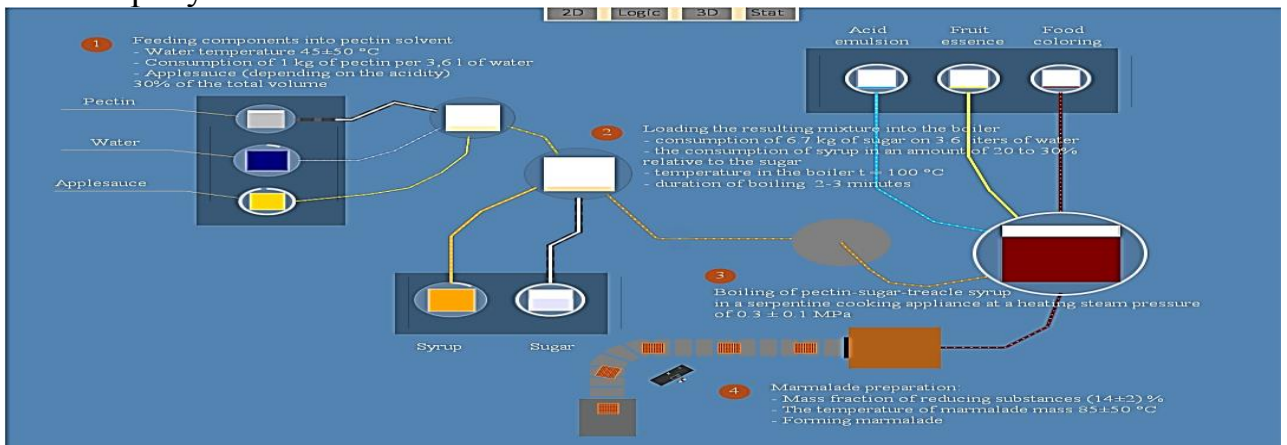


Рисунок 4.4. Модель производства мармелада в формате двумерной графики

На базе полученных имитационных моделей были проведены эксперименты, направленные на совершенствование исследуемых производственных процессов и их виртуальное тестирование, поскольку полученные имитационные модели позволили создавать визуальное отображение исследуемых процессов.

Разработанные в данной работе виртуальные модели всех исследуемых процессов производства кондитерской продукции позволили описать реализованных агентов с помощью среды имитационного моделирования AnyLogic, а также воспроизвести автоматизированный процесс производства продукции, что дало возможность провести дальнейшие исследования, направленные на детальный разбор основных этапов производства кондитерской продукции; дать оценку функциональности существующей автоматизированной системы производства, реализуемой в настоящее время на кондитерских предприятиях.

Проведенные нами исследования с использованием методов мультиагентного имитационного моделирования позволили спрогнозировать выходные параметры исследуемых процессов производства кондитерской продукции, а также идентифицировать внутренние процессы при моделировании системы, что позволяет повысить эффективность исследуемого производства и улучшить качество производимой продукции – за счет проведения предварительных виртуальных экспериментов с варьированием параметров этого производства. При этом будет получен точный конечный результат в короткие сроки и без лишних затрат. Кроме того, возможно также получить рекомендации по актуализации параметров, направленных на оптимизацию производственного процесса. Полученные результаты моделирования процессов производства кондитерской продукции могут быть использованы также как основа для анализа актуальности подобранного 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 структурно-параметрические, математические, ситуационные и имитационные модели являются основой создания интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством кондитерской продукции в процессе производства.

Пятая глава посвящена методике создания цифровых двойников производства кондитерской продукции на основе структурно – параметрических, математических, ситуационных и имитационных моделей.

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 цифровых двойников. Представлены основные подходы к созданию и использованию цифровых двойников в процессах производства конди-

терских изделий. Показано место цифровых двойников в цифровизации кондитерской промышленности, продемонстрированы наиболее эффективные технологии их разработки. Рассмотрены и проанализированы возможности использования цифровых двойников в производстве кондитерских изделий на разных этапах их жизненного цикла.

Предложены научные основы создания цифровых двойников производства кондитерских изделий. Показана общая схема исследований по разработке ЦД производства кондитерских изделий. На рисунке 5.1. представлена V-образная диаграмма создания ЦД качества ТП производства кондитерской продукции.

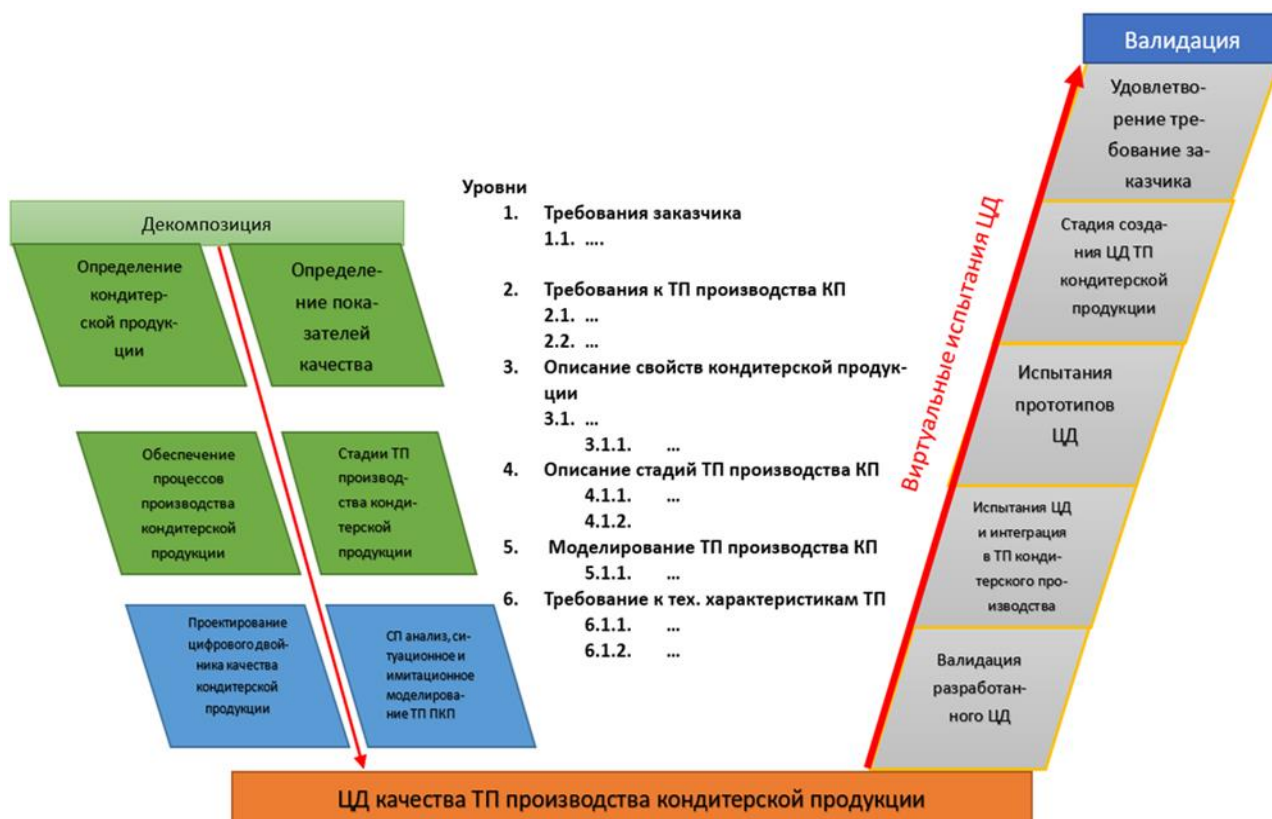


Рисунок 5.1. V-образная диаграмма создания ЦД качества кондитерской продукции

В рамках данной главы был реализован цифровой двойник производства шоколада, представленный на рисунке 5.2.

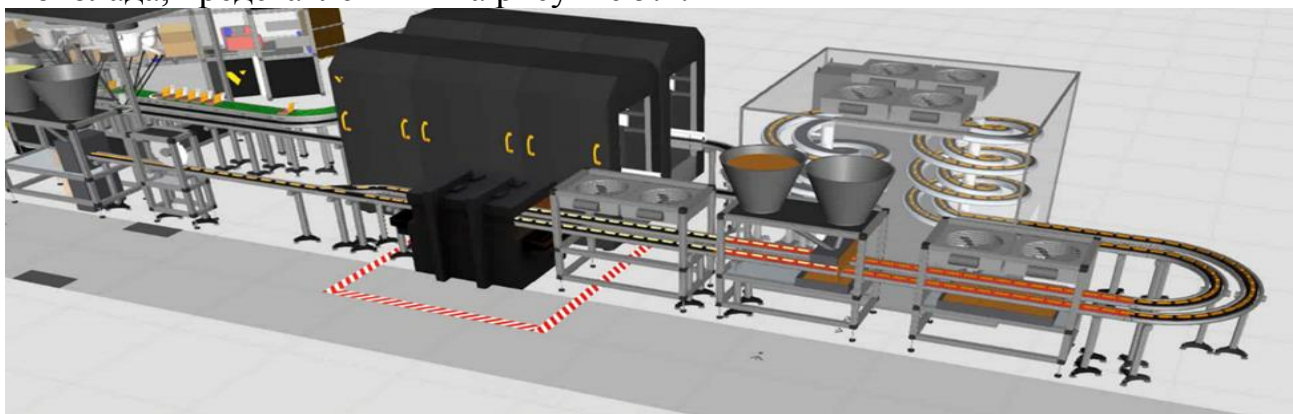


Рисунок 5.2. Цифровой двойник ТП производства шоколада

На примере линии производства шоколада показано применение разработанного комплекса инструментальных средств для создания ЦД процессов производства 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 шоколада на базе использования 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 СКЗ и нейронной сети Yolo представлены на рисунке 5.3.



Рисунок 5.3. Результаты работы СКЗ и нейронной сети Yolo

В шестой главе рассмотрено использование технологий виртуальной, дополненной реальности и кастомизации для разработки персонализированной линейки оригинальной кондитерской продукции нового поколения.

Рассмотрено и проанализировано современное использование технологии кастомизации в отраслях кондитерской промышленности. Показано, что применение интеллектуальных технологий кастомизации отражает общий тренд перехода к персонализированному потреблению кондитерской продукции нового поколения. Эти инновации не только способствуют развитию отрасли, но и создают новые возможности для выражения индивидуальности и предпочтений потребителей, делая каждый продукт по настоящему уникальным, оригинальным и запоминающимся.

Приведены основные этапы кастомизации формы, вкуса и цвета создаваемых оригинальных кондитерских изделий. Показано, что технология кастомизации дает возможность потребителю влиять на ряд характеристик продукта в соответствии с личными предпочтениями. Потребитель может самостоятельно менять форму изделия, внешний вид, цвет и вкус начинки - одной или более, выбирать украшения изделия, а также упаковку создаваемых новых конфет.

Представлены основные этапы процесса разработки цифровых трехмерных моделей конфет, помогающие определить ключевые элементы дизайна нового изделия, такие как форма, размер, текстура и цвет конечного продукта.

Осуществлен выбор программы для создания трехмерных моделей конфет. Показано, что важным шагом является создание эскизов новых изделий и перевод их в цифровую форму с помощью специализированного программного обес-

печения для 3D-моделирования. На этом этапе предлагается использование для дизайна таких программ, как Autodesk 3ds Max, Maya или Blender. Проиллюстрирована наибольшая перспективность применения программы Blender для создания точных цифровых трехмерных моделей создаваемых конфет. На основе реальных персонализированных конфет созданы цифровые трехмерные модели.

Рассмотрены возможные варианты создания платформы для кастомизации формы, цвета и текстуры кондитерских изделий. Выбран наиболее эффективный метод реализации, на базе которого разработана платформа для кастомизации кондитерских изделий. Приведены примеры и описаны действия такой платформы по генерированию подбора формы, начинки, декоративных украшений, цвета, текстуры и упаковки новых кондитерских изделий.

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

Выбрана подходящая среда для разработки облачной платформы для хранения и редактирования трехмерных моделей конфет. Для создания облачной платформы выбран фреймворк Django, предоставляющий возможность быстрого создания администраторской панели и подключения любой базы данных, а также имеющий различные шаблоны и плагины для автоматизации работы платформы. Создан прототип рабочей облачной платформы для хранения и редактирования трехмерных моделей конфет и продвижения 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 технические средства, которые позволяют решить поставленные технические задачи, являются доступными и имеют доступное программное обеспечение.

Подготовлен макет веб-сайта, представленный на рисунке 6.1.

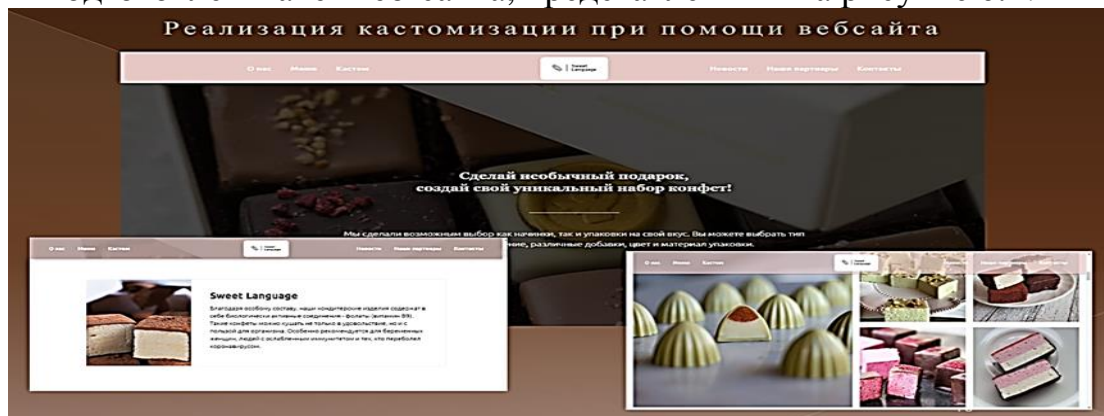


Рисунок 6.1. Дизайн главных страниц вебсайта

Опираясь на макет, был спроектирован прототип сайта в графическом редакторе Figma. Параллельно с этим был разработан первоначальный дизайн веб-сайта, после апробации которого был спроектирован и разработан следующий улучшенный вариант веб-сайт на основе HTML, CSS и Python кода с возможностью кастомизировать кондитерские изделия нового поколения.

Разработано информативное Веб-приложение для продвижения кондитерских изделий с учетом удобства пользователей, представленное на рисунке 6.2, который дополнен информативным и легко доступным контентом. Представлены ключевые функции такого приложения. Раскрыты тенденции кастомизации кондитерской индустрии в будущем.

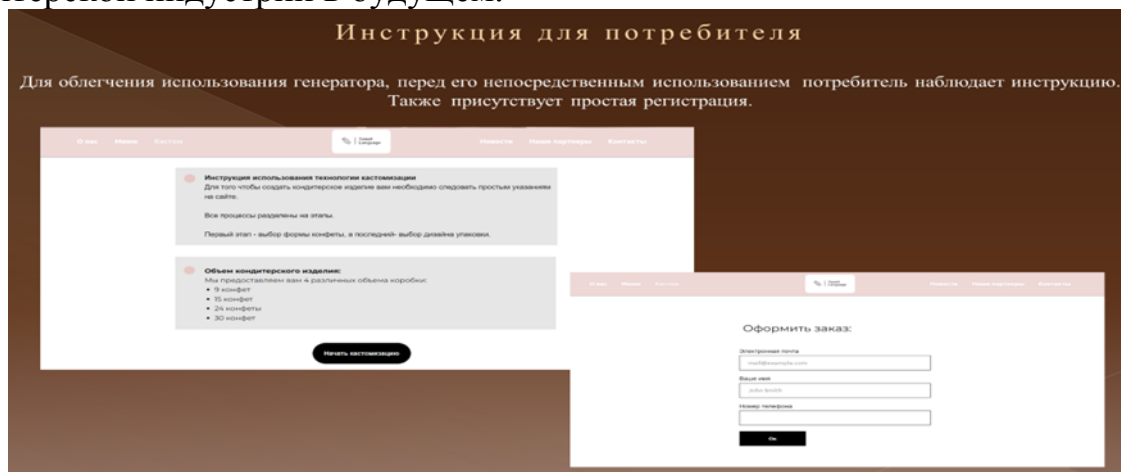


Рисунок 6.2. Информативное Веб-приложение для продвижения изделий

В седьмой главе представлены технические решения для реализации интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством (ИАСКиУК) кондитерской продукции в процессе производства. Показаны основные задачи ИАСКиУК и общие требования к разрабатываемой системе. Даны основные этапы ее реализации.

На основании проведенных исследований разработана обобщенная функциональная структура ИАСКиУК кондитерской продукции, представленная на рисунке 7.1.



Рисунок 7.1. Обобщенная функциональная структура ИАСКиУК кондитерской продукции

Представлены основные этапы реализации системы управления качеством кондитерской продукции в процессе производства.

Разработаны основные виды обеспечения ИАСКиУК: информационное, математическое и программное.

На основании анализа результатов проведенных исследований для построения нейросетевой системы контроля в потоке, прогнозирования и управления качеством кондитерской продукции рекомендовано использование нейрорегулятора, выполненного на базе многослойных нейронных сетей. Осуществлен подбор комплекса технических средств. Разработан состав основных элементов БД ИАСКиУК.

Сформирована база знаний ИАСКиУК кондитерских изделий. Разработана архитектура системы БЗ ИАСКиУК кондитерской продукции, представленная на рисунке 7.2. Был проведен выбор инструментария. В результате анализа различных вариантов была выбрана MVC (Model, View, Controller) в применении к WEB-разработке.

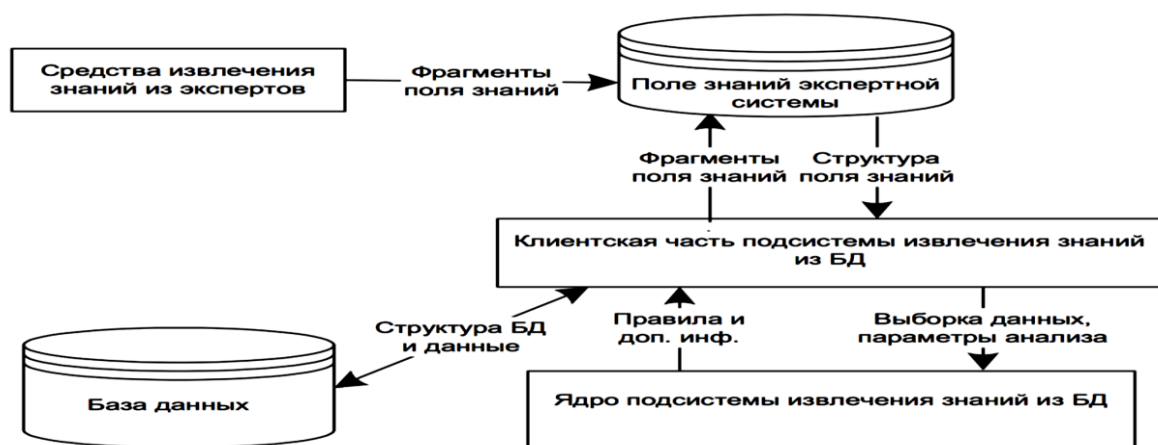


Рисунок 7.2. Архитектура системы БЗ ИАСКиУК кондитерской продукции

Представлена структура динамической ИАСКиУК кондитерской продукции (рисунок 7.3).



Рисунок 7.3. Структура динамической ИАСКиУК кондитерской продукции

На рисунке 7.4 показаны основные этапы разработки динамической ИАСКиУК кондитерской продукции в процессе производства.



Рисунок 7.4. Основные этапы разработки динамической ИАСКиУК кондитерской продукции

Каждому этапу соответствует реализация определенных задач. На первом этапе происходит формирование и накопление БД объекта. Второй этап – моделирование работы нейросистемы. Третий этап – создание программных (или аппаратных) нейросетевых решений прикладной задачи и эксплуатация системы контроля в потоке показателей качества 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 структуры ИАСКиУК осуществлен подбор комплекса технических средств, позволяющих реализовать все описанные функции применительно к линиям производства кондитерской продукции и даны рекомендации по их подбору. Разработано специализированное программное обеспечение, 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.

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 универсальных инструментальных средств.

Исследованы и модернизированы ФСА поточных линий производства кондитерской продукции разной структуры. В диссертации представлены ФСА основных стадий производства этих кондитерских изделий с новыми решениями по автоматизации контроля основных органолептических показателей качества

сырья, полуфабрикатов и готовых кондитерских изделий с использованием нейросетевых технологий и систем технического зрения, что позволяет повысить эффективность производства кондитерских изделий, минимизировать количество брака, а также исключить дополнительные расходы и трудозатраты, повысит качество производимой кондитерской продукции.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В работе решены все поставленные задачи.

Основные выводы и результаты заключаются в следующем.

1. Изучены ТП разнообразной по структуре кондитерской продукции как объекты автоматизации. Выявлены, систематизированы и проанализированы особенности исследуемых процессов, представлено описание основных стадий и материальных потоков при производстве этих кондитерских изделий.

2. Получены функционально-структурные схемы влияния показателей качества исходного сырья, промежуточных операций на качество готовой кондитерской продукции на всех стадиях производства с указанием необходимых точек контроля и регулирования.

3. Установлено, что применяемые в настоящее время методы оценки органолептических показателей качества субъективны и определяются, в основном, экспертами - технологами путем дегустационного анализа. Отмечены недостатки органолептических методов.

4. Проведены экспериментальные исследования и построены органолептические профили всех исследуемых кондитерских изделий.

5. Разработана структура целей, выявлен основной спектр решаемых задач, создана системная диаграмма решения проблемы, разработана концептуальная структурно- динамическая модель создания интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством кондитерской продукции различной структуры в процессе производства.

6. Проанализирована и определена перспективность использования нейросетевых технологий, экспертных систем, систем компьютерного зрения, мультиагентных имитационных моделей, цифровых двойников, виртуальной и дополненной реальностей, а также гибридных методов и технологий в решении задач создания ИАСКиУК.

7. Разработаны структурно- параметрические, математические, ситуационные и имитационные модели основных этапов ТП производства кондитерской продукции с различной структурой, являющихся основой разработки ИАСКиУК, позволяющих прогнозировать ход этих процессов и определять необходимые при этом режимы работы используемого оборудования.

8. Разработана методология автоматизации контроля в потоке основных органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий.

9. Созданы методы, способы, алгоритмы, математическое и программное обеспечение средств автоматического контроля в режиме реального времени органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых конди-

терских изделий на базе интеллектуальных методов и технологий. На этой базе разработано новое поколение интеллектуальных средств автоматизации контроля важнейших органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции в режиме реального времени: коэффициент извлечения примесей в сырье; угол естественного откоса сыпучих масс; вкус; запах; цвет, внешний вид, размер изделия, состояние поверхности готовых изделий, в том числе блеск поверхности, а также консистенция и вязкость.

10. Разработаны методологические основы создания цифровых двойников производства кондитерских изделий.

11. Представлены методологические основы создания персонализированной линейки оригинальной кондитерской продукции нового поколения с использованием технологий виртуальной, дополненной реальностей и кастомизации. Разработаны основные этапы кастомизации кондитерских изделий. Представлены способы разработки трехмерных моделей новой линейки конфет.

12. Разработаны научно- обоснованные подходы к созданию комплекса методов, алгоритмов, моделей и программ, обеспечивающих работу предложенной нейросетевой ИАСКиУК кондитерской продукции.

13. Представлены модифицированные 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.

14. Разработана концепция создания ИАСКиУК кондитерской продукции. Созданы основные виды обеспечения ИАСКиУК: информационное, математическое и программное. Представлены обобщенная функциональная структура, архитектура и основные этапы реализации ИАСКиУК.

15. Представлены технические решения для реализации ИАСКиУК кондитерской продукции в процессе производства. Осуществлен подбор технических средств для данной интеллектуальной системы.

16. 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.

Список основных работ, опубликованных по теме диссертации:

Публикации в изданиях, включенных в Перечень ВАК РФ:

1. Благовещенский В.Г и др. Интеллектуальный модуль- дегустатор для прогнозирования вкуса / М.Ю. Музыка, И.Г. Благовещенский, М.М. Благовещенская, А.В. Бунеев, В.Г. Благовещенский// Хранение и переработка сельхозсырья. 2022. № 1. С. 173-193.

2. Благовещенский В.Г и др. 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.
3. Благовещенский В.Г и др. Повышение эффективности технологических процессов на основе современных методов моделирования и оптимизации / Благовещенский И.Г., Музыка М.Ю., Благовещенский В.Г., Головин В.В.// Инженерный журнал: наука и инновации. – 2022. – № 5(125). – С. 146-156.
4. Благовещенский В.Г. и др. Введение алгоритма диагностики аварийных ситуаций в систему автоматизированного управления процессом стерилизации /С.А. Мокрушин, И.Г. Благовещенский, М.М. Благовещенская, С.И. Охапкин, В.Г. Благовещенский // Хранение и переработка сельхозсырья. 2024;(1). <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.1.415>
5. Благовещенский В.Г и др. Адаптивная система управления с идентификатором нестационарными процессами производства / И.Г. Благовещенский, В.Г. Благовещенский, А.С. Носенко, А.М. Аднодворцев // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2022. – № 5(125). – С. 162-169.
6. Благовещенский В.Г. и др. 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.
7. Благовещенский В.Г. и др. 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.40-52.
8. Благовещенский В.Г. и др. Методология расчета динамических характеристик пищевых производств при их моделировании / В.Г. Благовещенский, А.С. Носенко // Хранение и переработка сельхозсырья. 2021. - №2. – С. 45 – 48.
9. Благовещенский В.Г. и др. Структурно - параметрическое моделирование и идентификация модели технологического процесса формования помадных масс как объекта управления / И.Г. Благовещенский, В.Г. Благовещенский, М.А. Скрипка, А.С. Носенко // Хранение и переработка сельхозсырья. 2021. - №4. – С. 45 – 50.
10. Благовещенский В.Г. и др. Структурно-параметрическое моделирование процесса глазирования корпусов помадных конфет как начальный этап разработки имитационной модели / И.Г. Благовещенский, В.Г. Благовещенский, А.С. Носенко // Хранение и переработка сельхозсырья. 2021. - №3. – С. 67 – 74.
11. Благовещенский В.Г. и др. Интеллектуальный анализ данных для систем поддержки принятия решений диагностики процессов производства пищевой продукции / И.Г. Благовещенский, В.Г. Благовещенский, Е.А. Назойкин, А.Н. Петряков// Казанская наука. 2020. №. 1. С. 105 – 109.
12. Благовещенский В.Г. и др. Применение метода объектно-ориентированного программирования для контроля показателей 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.
13. Благовещенский В.Г и др. Математическое моделирование тепловых и влажностных процессов в камере обезвоживания пищевых продуктов / В.В. Ерещенко, В.В. Яценко, И.Г. Благовещенский, В.Г. Благовещенский // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2022. № 4 (16). С. 76-87.

II. Публикации в изданиях, включенных в изданиях, рецензируемых в международных базах данных (Scopus и WOS)

14. Blagoveschensky I.G., Petryakov A.N., Blagoveschensky V.G. Using depth map algorithms to improve the quality of object identification on digital stereo images // Journal of Physics: Conference

Series. Сеп. "International Meeting - Fundamental and Applied Problems of Mechanics" 2019. С. 012021.

15. Blagoveshchenskaya M.M., Blagoveshchenskiy V.G., Rogelio S.C.M., Petryakov A.N. Development of a neural network model for controlling the process of dosing bulk food masses // Journal of Physics: Conference Series. Сеп. "Fundamental and Applied Problems of Mechanics, FAPM 2019" 2020. С. 012027.

16. Blagoveshchenskiy I.G., Blagoveshchenskiy V.G., Besfamilnaya E.M., Sumerin V.A. Development of databases of intelligent expert systems for automatic control of product quality indicators // Journal of Physics: Conference Series. Сеп. "Fundamental and Applied Problems of Mechanics, FAPM 2019" 2020. С. 012019.

17. Blagoveshchenskiy V.G. Selection of a system for automatic control of the sterilization process of canned food in an industrial autoclave / Mokrushin S.A., Nazoikin E.A., Zabenkova N.A., Blagoveshchenskiy V.G., Terekhin A.R., Galkin N.S. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2022. – Vol. 1052, No. 1. – P. 012136. – DOI 10.1088/1755-1315/1052/1/012136.

18. Blagoveshchenskiy V.G. HYBRID ALGORITHMS FOR OPTIMIZATION AND DIAGNOSTICS OF HYDROMECHANICAL SYSTEMS USED IN FOOD PRODUCTION BIOTECHNOLOGY. IN MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING "FUNDAMENTAL AND APPLIED /Blagoveshchenskiy V.G., Sulimov V.D., Blagoveshchenskaya M.M.// Проблемы механики. 2018. № 2017. С. 012039.

19. Blagoveshchenskiy V.G. COMPARATIVE EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE SEPARATION PROCESS WITH VARIOUS TYPES OF MOVEMENT OF THE SEPARATING SURFACE /Blagoveshchenskiy V.G., Blagoveshchenskaya M.M.// В сборнике: Journal of Physics: Conference Series. Сеп. "Fundamental and Applied Problems of Mechanics, FAPM 2019" 2020. С. 012036.

20. Blagoveshchenskiy V.G. DEVELOPMENT AND RESEARCH OF MATHEMATICAL MODELS AND CONTROL ALGORITHMS FOR THE SEPARATION OF BULK MATERIALS /Blagoveshchenskiy I.G., Blagoveshchenskiy V.G., Blagoveshchenskaya M.M., Krasnov A.E.// В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Fundamental and Applied Problems of Mechanics (FAPM 2020). 2021. С. 012018.

Ш. Патенты и свидетельства о регистрации программ для ЭВМ

21. Благовещенский В.Г. и др. 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.

22. Благовещенский В.Г. и др. 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 15.01.2024.

IY. Монографии

23. Благовещенский В.Г., Благовещенский И.Г. Интеллектуальная автоматизированная система управления качеством халвы с использованием гибридных методов и технологий / В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский//Монография. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2022. – 186 с.

24. Благовещенский В.Г. и др. Разработка моделей, методов и алгоритмов интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кефира / И. Г. Благовещенский, В. Г. Благовещенский, Л. А. Крылова, М. М. Благовещенская // Монография. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2023. – 216 с. –

25. Благовещенский В.Г. Методологические основы автоматизации контроля органолептических показателей качества кондитерской продукции и создание на их базе интеллектуальных систем управления. /В.Г. Благовещенский// Монография. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2024. – 407 с.

Y. Научные публикации в других журналах:

26. Благовещенский В.Г. и др. Повышение качества 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.
27. Благовещенский В.Г. и др. Контроль качества маркировки пищевых продуктов с использованием интеллектуальных технологий /Э.М.Т. Хамед, И.Г. Благовещенский, В.Г. Благовещенский, Д.В. Зубов// Health, Food & Biotechnology. 2020. Т. 2. № 1. С. 112-127.
28. Благовещенский В.Г. и др. Автоматизация контроля показателей качества и выявления брака продукции с использованием системы компьютерного зрения / И.Г. Благовещенский, В.Г. Благовещенский, М.М. Благовещенская, С.М. Носенко // Кондитерское производство. 2016. - №3. – С. 26 – 30.
29. Благовещенский В.Г. Разработка ситуационной модели технологических процессов производства помадных конфет // Кондитерское производство. 2017. №3. – С.17 – 20.
30. Благовещенский В. Г. и др. 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, № 6. – С. 40-47. – DOI 10.36107/hfb.2020.i3.s70.
31. Благовещенский В.Г. и др. Автоматизация процесса приготовления помадного сиропа/ И.Г. Благовещенский, В.Г. Благовещенский, С.М. Носенко // Пищевая промышленность», №6, 2015. С. 42-45.
- У. Материалы симпозиумов, конгрессов, научных конференций***
32. Благовещенский В.Г. и др. Разработка структурно- параметрической модели процесса приготовления помадного сиропа при производстве халвы / В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский, Е.А. Назойкин, В.О. Савельев // В сборнике научных докладов II международной НП конференции «Автоматизация и управление технологическими и бизнес- процессами в пищевой промышленности. М.: ИК МГУПП. 2016. С. 86 – 91.
33. Благовещенский В.Г. и др. Автоматизация процесса очистки семян подсолнечника при производстве халвы / В.Г.Благовещенский, И.Г. Благовещенский, Е.А. Назойкин, А.С. Носенко //В сборнике научных докладов II международной НП конференции «Автоматизация и управление технологическими и бизнес- процессами в пищевой промышленности. М.: ИК МГУПП. 2016. С. 58 – 62.
34. Благовещенский В.Г. и др. Разработка программно-аппаратного комплекса мониторинга производства халвы/ В.Г. Благовещенский, Л.А. Крылова, А.С. Максимов //В книге: Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности России: кадры и наука. М.: ИК МГУПП. 2017. С. 196-199.
35. Благовещенский В.Г. и др. Разработка интеллектуальных аппаратно-программных комплексов мониторинга процессов сепарирования дисперсных пищевых масс на основе интеллектуальных технологий/ Л.А. Крылова, В.Г. Благовещенский, А.В. Татаринов//В книге: Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности России: кадры и наука. М.: ИК МГУПП. 2017. С.199-201.
36. Благовещенский В.Г. и др. Разработка экспертной системы контроля качества в процессе приготовления халвы/ М.Ю. Никитушкина, Л.А. Крылова, В.Г. Благовещенский// Сборник материалов научной общеуниверситетской студенческой конференции студентов и молодых ученых "День науки". М.: ИК МГУПП. 2017. С. 294-301.
37. Благовещенский В.Г. и др. Задача оценки степени готовности шоколадных масс к формованию/ Благовещенский В.Г., Благовещенская М.М., Крылова Л.А., Ионов А.В.// Сборник материалов XV международной НП конференции студентов и молодых ученых «Живые системы и биологическая безопасность населения». М.: ИК МГУПП. 2017. С. 108-112.
38. Благовещенский В.Г. и др. Разработка экспертной системы контроля качества в процессе приготовления халвы/ В.Г. Благовещенский, М.М. Благовещенская // Сборник материалов

XV международной НП конференции студентов и молодых ученых «Живые системы и биологическая безопасность населения». М.: ИК МГУПП. 2017. С. 132-137.

39. Благовещенский В.Г. и др. Автоматизация процесса приготовления помадного сиропа / В.Г. Благовещенский, М.Ю. Никитушкина // В книге: Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности России: кадры и наука. М.: ИК МГУПП. 2017. С. 202-205.

40. Благовещенский В.Г. и др. Применение метода объектно-ориентированного программирования для контроля показателей 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.

41. Благовещенский В.Г. и др. Автоматизация процесса приготовления сахарного сиропа / В.Г. Благовещенский, Л.А. Крылова, М.Ю. Никитушкина // Сборник научных трудов I НП конференции с международным участием «Передовые пищевые технологии: состояние, тренды, точки роста». М.: ИК МГУПП. 2018. С. 663-667.

42. Благовещенский В.Г. и др. Автоматизация стадий приготовления помадного сиропа при производстве кондитерских изделий / В.Г. Благовещенский, М.Ю. Никитушкина, Л.А. Крылова // Материалы Конференции с международным участием «Современное состояние и перспективы развития упаковки в пищевой промышленности». М.: ИК МГУПП. 2018. С. 126-129.

43. Благовещенский В.Г. и др. Разработка нейросетевой модели для управления процессом дозирования сыпучих масс / М.Г. Балыхин, И.Г. Благовещенский, В.Г. Благовещенский, Л.А. Крылова // Сборник материалов конференции «Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности». М.: ИК МГУПП. 2019. С. 6-20.

44. Благовещенский В.Г. Постановка задачи создания интеллектуальной автоматизированной системы управления процессом производства халвы / Благовещенский В.Г. // Сборник материалов конференции «Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности». М.: ИК МГУПП. 2019. С. 21-31.

45. Благовещенский В.Г. и др. Адаптивная система управления с идентификатором нестандартными технологическими процессами в отраслях пищевой промышленности / М.Г. Балыхин, И.Г. Благовещенский, Е.А. Назойкин, В.Г. Благовещенский // Сборник материалов конференции «Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности». М.: ИК МГУПП. 2019. С. 32-39.

46. Благовещенский В.Г. и др. Использование библиотеки OpenCV для работы с техническим зрением / К.А. Гончаров, И.Г. Благовещенский, Е.А. Назойкин, В.Г. Благовещенский, З.В. Макаровская // Сборник материалов конференции «Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности». М.: ИК МГУПП. 2019. С. 53-60.

47. Благовещенский В.Г. и др. Алгоритмическое обеспечение автоматизированной системы хранения и созревания сыпучих пищевых продуктов / Е.Б. Карелина, В.Г. Благовещенский, Д.Ю. Клехо // Сборник материалов конференции «Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности». М.: ИК МГУПП. 2019. С. 73-80.

48. Благовещенский В.Г. и др. Интеграция адаптивного управления в технологические процессы пищевой отрасли / Е.Б. Карелина, М.М. Благовещенская, В.Г. Благовещенский, Д.Ю. Клехо, И.Г. Благовещенский // Сборник материалов конференции «Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности». М.: ИК МГУПП. 2019. С. 81-89.

49. Благовещенский В.Г. и др. Внедрение цифрового двойника управления в технологическое производство / П.Н. Харитонова, Е.Б. Карелина, В.Г. Благовещенский, Д.Ю. Клехо, И.Г. Благовещенский // Сборник материалов конференции «Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности». М.: ИК МГУПП. 2019. С. 171-180.

50. Благовещенский В. Г. Интеллектуальный анализ данных для систем поддержки принятия решений диагностики процессов производства пищевой продукции // Сборник научных статей II международной НП конференции «Цифровизация агропромышленного комплекса». Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ». 2020. Том I. С.105-110.

51. Благовещенский В. Г. Использование методов визуальной корреляции для анализа данных от различных источников // Сборник научных статей П международной научно- практической конференции «Цифровизация агропромышленного комплекса». Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ». 2020. Том I. С.87-92.
52. Благовещенский В.Г и др. Адаптивная система управления с идентификатором нестационарными процессами производства / И.Г. Благовещенский, В.Г. Благовещенский, А.С. Носенко, А.М. Аднодворцев// Фундаментальные и прикладные задачи механики: Материалы Международной научная конференции. В 2-х частях, Москва, 07–10 декабря 2021 года. – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2022. – С. 162-169.
53. Благовещенский В.Г и др. Методы визуальной корреляции для анализа данных от различных источников /В.Г. Благовещенский, Благовещенский И.Г., М.М. Благовещенская, А.С. Носенко, М.В. Веселов // Фундаментальные и прикладные задачи механики: Материалы Международной научная конференции. В 2-х частях, Москва, 07–10 декабря 2021 года. – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2022. – С. 156-162.
54. Благовещенский В.Г. Повышение эффективности технологических процессов на основе современных методов моделирования и оптимизации // Фундаментальные и прикладные задачи механики: Материалы Международной научная конференции. В 2-х частях, Москва, 07–10 декабря 2021 года. – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2022. – С. 146-156.
55. Благовещенский В.Г и др. Модель управления качеством технологических процессов пищевых предприятий / И.Г. Благовещенский, В.Г. Благовещенский, М.В. Веселов // Информатизация и автоматизация в пищевой промышленности: Сборник научных докладов Всероссийской НТ конференции, Москва. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2022. – С. 87-97.
56. Благовещенский В.Г и др. Интеллектуальная оптимизация производства на основе использования инновационных продуктов и технологий / В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский, В.В. Головин, А.М. Аднодворцев // Информатизация и автоматизация в пищевой промышленности: Сборник научных докладов Всероссийской НТ конференции, Москва,. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2022. – С. 140-144.
57. Благовещенский В.Г и др. Автоматизация участков приготовления и структурообразования зефирной массы при производстве неглазированного зефира / М.М. Благовещенская, И.Г. Благовещенский, А.М. Аднодворцев, В.Г. Благовещенский // Информатизация и автоматизация в пищевой промышленности: Сборник научных докладов Всероссийской НТ конференции, Москва. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2022. – С. 126-134.
58. Благовещенский В.Г и др. Интеллектуальная система мониторинга технологических процессов производства продуктов на пищевых предприятиях / И.Г. Благовещенский., В.Г. Благовещенский, С.Д. Савостин, А.В. Кучумов. // Информатизация и автоматизация в пищевой промышленности: Сборник научных докладов Всероссийской НТ конференции, Москва. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2022. – С. 119-126.
59. Благовещенский В.Г и др. Исследование возможности использования генетических алгоритмов для решения оптимизационных задач производства конфет / М.М. Благовещенская, И.Г. Благовещенский, В.Г. Благовещенский, В.В. Головин // Информатизация и автоматизация в пищевой промышленности: Сборник научных докладов Всероссийской НТ конференции, Москва. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2022. – С. 97-109.
60. Благовещенский В.Г и др. 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 НТ конференции, Москва. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2022. – С. 78-83.
61. Благовещенский В.Г и др. Идентификация процесса производства мармеладных конфет с использованием методов имитационного моделирования / М.М. Благовещенская., И.Г. Благовещенский, Е.Н. Зеленова, В.Г. Благовещенский // Информатизация и автоматизация в пище-

вой промышленности: Сборник научных докладов Всероссийской НТ конференции, Москва. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2022. – С. 72-78.

62. Благовещенский В.Г и др. Разработка и внедрение SCADA-системы на основе Интернет вещей с использованием IT-платформы Thingier.IO / Д.В. Талмазова, А.С. Семенов, В.Г. Благовещенский // Информатизация и автоматизация в пищевой промышленности: Сборник научных докладов Всероссийской НТ конференции, Москва. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2022. – С. 28-35.

63. Благовещенский В.Г и др. Цифровые двойники в рамках концепции промышленного Интернета вещей / С.А. Рылов, О.В. Чистяков, М.В. Веселов, И.Г. Благовещенский., В.Г. Благовещенский // Фабрика будущего: Сборник научных докладов III Международной НТ конференции - выставки, Москва. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2022. – С. 300-307.

64. Благовещенский В.Г и др. Архитектурная концепция разработки современных цифровых двойников на базе промышленного интернета вещей / С. А. Рылов, И. Г. Благовещенский, В.Г. Благовещенский // Фабрика будущего: Сборник научных докладов III Международной НТ конференции - выставки, Москва. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2022. – С. 284-293.

65. Благовещенский В.Г. Цифровизация агропромышленного комплекса. Сборник научных статей III Международной научно-практической конференции, Тамбов, 25–27 октября 2022 года. Том 1. – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО "Тамбовский государственный технический университет", 2022. – С. 250-253.

66. Благовещенский В.Г. Человеко-машинный интерфейс для интеллектуальной экспертной системы // Современные проблемы автоматизации технологических процессов и производств: сборник научных докладов НП конференции с международным участием, посвященной 100-летию со дня рождения Игоря Константиновича Петрова, Москва, 11 октября 2023 года. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2023. – С. 279-287.

67. Благовещенский В.Г и др. 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 со дня рождения Игоря Константиновича Петрова, Москва, 11 октября 2023 года. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2023. – С. 224-231.

68. Благовещенский В.Г и др. Модели и методы машинного обучения для проектирования систем поддержки принятия решений / К.А. Иванов., И.Г. Благовещенский, В.Г. Благовещенский, Е.Н. Зеленова, А.В. Климов, М.М. Благовещенская // Современные проблемы автоматизации ТП и производств: сборник докладов НП конференции с международным участием, посвященной 100-летию со дня рождения Игоря Константиновича Петрова, Москва, 11 октября 2023 года. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2023. – С. 192-200.

69. Благовещенский В.Г. Параметрические модели нестационарных ТП производства пищевой продукции // Современные проблемы автоматизации технологических процессов и производств: сборник докладов НП конференции с международным участием, посвященной 100-летию со дня рождения Игоря Константиновича Петрова, Москва, 11 октября 2023 года. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2023. – С. 131-139.

70. Благовещенский В.Г и др. Идентификация процессов производства пищевой продукции с нестационарными параметрами / И.Г. Благовещенский, В.Г. Благовещенский, А.М. Адродворцев, В.В. Головин, М.М. Благовещенская // Современные проблемы автоматизации технологических процессов и производств : сборник докладов НП конференции с международным участием, посвященной 100-летию со дня рождения Игоря Константиновича Петрова, Москва, 11 октября 2023 года. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2023. – С. 123-130.

71. Благовещенский В.Г. Автоматизация контроля угла естественного откоса // Современные проблемы автоматизации технологических процессов и производств : сборник докладов НП конференции с международным участием, посвященной 100-летию со дня рождения Игоря

Константиновича Петрова, Москва, 11 октября 2023 года. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2023. – С. 115-122.

72. Благовещенский В.Г и др. Создание автоматических датчиков контроля консистенции кондитерских масс / В.Г. Благовещенский, В.А. Холопов, И.Г. Благовещенский., М.М. Благовещенская М.М., И.В. Кротов, Ю.В. Зуева // Современные проблемы автоматизации технологических процессов и производств : сборник докладов НП конференции с международным участием, посвященной 100-летию со дня рождения Игоря Константиновича Петрова, Москва, 11 октября 2023 года. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2023. – С. 105-114.

73. Благовещенский В.Г и др. Проблемы управления технологическими процессами производства кондитерских изделий и пути их преодоления / В.Г. Благовещенский, А.С. Носенко, В.А. Холопов., И.Г. Благовещенский, М.В. Весело., А.М. Адродворцев // Современные проблемы автоматизации технологических процессов и производств: сборник докладов НП конференции с международным участием, посвященной 100-летию со дня рождения Игоря Константиновича Петрова, Москва, 11 октября 2023 года. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2023. – С. 97-104.

74. Благовещенский В.Г и др. Особенности и специфика использования интеллектуальных информационных систем для контроля и управления процессами производства кондитерских изделий / В.Г. Благовещенский, А.Е. Краснов, И.Г. Благовещенский, В.А. Холопов, А.С. Носенко, Р.А. Кротов // Современные проблемы автоматизации технологических процессов и производств : сборник докладов НП конференции с международным участием, посвященной 100-летию со дня рождения Игоря Константиновича Петрова, Москва, 11 октября 2023 года. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2023. – С. 88-96.

75. Благовещенский В.Г. Выявление основных органолептических показателей качества при контроле сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции // Современные проблемы автоматизации технологических процессов и производств: сборник докладов НП конференции с международным участием, посвященной 100-летию со дня рождения Игоря Константиновича Петрова, Москва, 11 октября 2023 года. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2023. – С. 70-87.

76. Благовещенский В.Г. Управления качеством пищевой продукции в процессе производства с использованием нейросетевых технологий // Современные проблемы автоматизации технологических процессов и производств: сборник докладов НП конференции с международным участием, посвященной 100-летию со дня рождения Игоря Константиновича Петрова, Москва, 11 октября 2023 года. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2023. – С. 48-59.

77. Благовещенский В.Г и др. Автоматическое распознавание бракованного шоколада с помощью нейросети YOLO на основе данных из цифровой симуляции / В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский, В.А. Холопов, А.М. Адродворцев, В.В. Головин, С.А. Мокрушин // Современные проблемы автоматизации технологических процессов и производств: сборник докладов НП конференции с международным участием, посвященной 100-летию со дня рождения Игоря Константиновича Петрова, Москва, 11 октября 2023 года. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2023. – С. 38-47.

78. Благовещенский В.Г и др. Структурная схема идентификации нестационарного технологического процесса производства пищевой продукции / В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский, Д.В. Ломакин, Д.М. Челноков, М.М. Благовещенская., Н.С. Мурина // Современные проблемы автоматизации технологических процессов и производств: сборник докладов НП конференции с международным участием, посвященной 100-летию со дня рождения Игоря Константиновича Петрова, Москва, 11 октября 2023 года. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2023. – С. 28-37.

79. Благовещенский В.Г. Основные направления разработки информационных компьютерных моделей для цифровизации производства пищевых предприятий // Фабрика будущего: Сборник докладов IV Международной специализированной конференции-выставки, Москва, 26 апреля 2023 года. – Москва: ФГБОУ ВО " РОСБИОТЕХ", 2023. – С. 199-208.

80. Благовещенский В.Г. Алгоритмизация цифрового проектирования оборудования промышленной линии по производству конфет «Птичье молоко» // Фабрика будущего: Сборник научных докладов IV Международной специализированной конференции-выставки, Москва, 26 апреля 2023 года. – Москва: ФГБОУ ВО " РОСБИОТЕХ", 2023. – С. 138-144.
81. Благовещенский В.Г и др. Аналитический обзор систем, использующих технологии виртуальной и дополненной реальности в различных отраслях / И.Г. Благовещенский, В.Г. Благовещенский, В.В. Стецик, К.В. Лозинина, М.М. Благовещенская // Фабрика будущего: Сборник научных докладов IV Международной специализированной конференции-выставки, Москва, 26 апреля 2023 года. – Москва: ФГБОУ ВО " РОСБИОТЕХ", 2023. – С. 130-137.
82. Благовещенский В.Г и др. Создание компьютерной модели линии производства Птичьего молока с использованием технологий виртуальной реальности / И.Г. Благовещенский, В.Г. Благовещенский, А.В. Михайлов, С.Д. Рогов, А.В. Сяндюков // Фабрика будущего: Сборник научных докладов IV Международной специализированной конференции-выставки, Москва, 26 апреля 2023 года. – Москва: ФГБОУ ВО " РОСБИОТЕХ", 2023. – С. 106-117.
83. Благовещенский В.Г и др. Основные перспективные направления применения цифровых технологий в пищевой промышленности / И.Г. Благовещенский, В.Г. Благовещенский, А.Е. Краснов, В.С. Безуглов // Фабрика будущего: Сборник научных докладов IV Международной специализированной конференции-выставки, Москва, 26 апреля 2023 года. – Москва: ФГБОУ ВО " РОСБИОТЕХ", 2023. – С. 97-105.
84. Благовещенский В.Г и др. Автоматизация оборудования для темперирования и глазировани шоколадной глазурью при производстве конфет / И.Г. Благовещенский, А.М. Аднодворцев, В.В. Головин, М.М. Благовещенская, В.Г. Благовещенский // Фабрика будущего: Сборник научных докладов IV Международной специализированной конференции-выставки, Москва, 26 апреля 2023 года. – Москва: ФГБОУ ВО " РОСБИОТЕХ", 2023. – С. 85-96.
85. Благовещенский В.Г и др. Автоматизация технологических процессов за счет внедрения цифрового двойника / В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский, В.А. Холопов, С.Д. Рогов, М.В. Веселов // Фабрика будущего: Сборник научных докладов IV Международной специализированной конференции-выставки, Москва: ФГБОУ ВО " РОСБИОТЕХ", 2023. – С. 72-77.
86. Благовещенский В.Г и др. Применение на производстве нейронной сети YOLO для определения качества пищевой продукции / В. Г. Благовещенский, И. Г. Благовещенский, В. А. Холопов, Е. Н. Зеленова // Фабрика будущего: Сборник научных докладов IV Международной специализированной конференции-выставки, Москва: ФГБОУ ВО " РОСБИОТЕХ", 2023. – С. 66-72.
87. Благовещенский В.Г и др. Модель системы управления информационным ресурсом производства на основе СУБД / В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский, А.В. Михайлов, С.Д. Рогов, А.В. Сяндюков // Фабрика будущего: Сборник научных докладов IV Международной специализированной конференции-выставки, Москва: ФГБОУ ВО " РОСБИОТЕХ", 2023. – С. 61-65.
88. Благовещенский В.Г и др. Анализ технологического процесса производства сбивных конфет как объекта автоматизации / В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский, А.Е. Краснов, А.В. Тихонов, М.В. Безуглов // Фабрика будущего: Сборник научных докладов IV Международной специализированной конференции-выставки, Москва: ФГБОУ ВО " РОСБИОТЕХ", 2023. – С. 50-60.
89. Благовещенский В.Г и др. Анализ готовности к цифровизации кондитерских производств / В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский, А.О. Игольников, А.С. Попов, М.М. Благовещенская // Фабрика будущего: Сборник научных докладов IV Международной специализированной конференции-выставки, Москва: ФГБОУ ВО " РОСБИОТЕХ", 2023. – С. 41-50.
90. Благовещенский В.Г и др. Автоматизация контроля блеска покрытий глазированных шоколадных конфет различной геометрической формы / В. Г. Благовещенский, И. Г. Благовещенский, В. В. Головин // Фабрика будущего: Сборник научных докладов IV Международной

специализированной конференции-выставки, Москва, 26 апреля 2023 года. – Москва: ФГБОУ ВО "РОСБИОТЕХ", 2023. – С. 35-40.

91. Благовещенский В.Г и др. Проектирование информационной системы управления кондитерским предприятием с учетом имеющихся проблем / В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский, В.С. Безуглов, О.А. Крот, Е.Н. Зеленова // Фабрика будущего: Сборник научных докладов IV Международной специализированной конференции-выставки, Москва, 26 апреля 2023 года. – Москва: ФГБОУ ВО "РОСБИОТЕХ", 2023. – С. 27-35.

92. Благовещенский В.Г. Разработка платформы для кастомизации формы и цвета кондитерских изделий // Интеллектуальные автоматизированные управляющие системы в биотехнологических процессах: сборник докладов всероссийской научно-практической конференции, Москва, 29 марта 2023 года. – Москва: «РОСБИОТЕХ»; ЗАО «Университетская книга», 2023. – С. 10-15.

93. Благовещенский В.Г и др. База для описания Цифрового двойника в рамках единой технологической системы управления с использованием формата AUTOMATIONML / О.В. Чистяков, М.М. Благовещенская, С.А. Рылов, М.В. Веселов, В.Г. Благовещенский, А.В. Михайлов // Интеллектуальные автоматизированные управляющие системы в биотехнологических процессах: сборник докладов всероссийской научно-практической конференции, Москва, 29 марта 2023 года. – Москва: «РОСБИОТЕХ»; - ЗАО «Университетская книга», 2023. – С. 336-343.

94. Благовещенский В.Г и др. Использование технологий виртуальной и дополненной реальности 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 научно-практической конференции, Москва, 29 марта 2023 года. – Москва: «РОСБИОТЕХ»; ЗАО «Университетская книга», 2023. – С. 313-323.

95. Благовещенский В.Г и др. Тенденции кастомизации пищевой индустрии в будущем / 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 научно-практической конференции, Москва, 29 марта 2023 года. – Москва: «РОСБИОТЕХ»; - ЗАО «Университетская книга», 2023. – С. 214-221.

96. Благовещенский В.Г и др. 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 научно-практической конференции, Москва, 29 марта 2023 года. – Москва: «РОСБИОТЕХ»; - ЗАО «Университетская книга», 2023. – С. 190-196.

97. Благовещенский В.Г и др. Структура компьютерной системы формирования базы знаний / Е.Н. Зеленова, И.Г. Благовещенский, В.Г. Благовещенский, О.А. Крот, С.В. Киселев // Интеллектуальные автоматизированные управляющие системы в биотехнологических процессах : сборник докладов всероссийской научно-практической конференции, Москва, 29 марта 2023 года. – Москва: «РОСБИОТЕХ»; - ЗАО «Университетская книга», 2023. – С. 139-146.

98. Благовещенский В.Г и др. Создание и практическая реализация экспертной системы для кастомизации формы и цвета кондитерских изделий / 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 научно-практической конференции, Москва, 29 марта 2023 года. – Москва: «РОСБИОТЕХ»; - ЗАО «Университетская книга», 2023. – С. 96-101.

99. Благовещенский В.Г и др. Создание базы данных для разработки облачной платформы хранения и редактирования 3D моделей конфет / В.Г. Благовещенский, А.Е. Краснов, И.Г. Благовещенский, С.А. Мокрушин, А.В. Тихонов // Интеллектуальные автоматизированные управляющие системы в биотехнологических процессах: сборник докладов всероссийской

научно-практической конференции, Москва, 29 марта 2023 года. – Москва: «РОСБИОТЕХ»;- ЗАО «Университетская книга», 2023. – С. 85-96.

100. Благовещенский В.Г и др. 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 С.Д.// Интеллектуальные автоматизированные управляющие системы в биотехнологических процессах : сборник докладов всероссийской научно-практической конференции, Москва, 29 марта 2023 года. – Москва: «РОСБИОТЕХ»; - ЗАО «Университетская книга», 2023. – С. 77-85.

101. Благовещенский В.Г и др. Современное использование технологии кастомизации в пищевой индустрии / В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский, А.В. Михайлов, М.М. Благовещенская, В.С. Безуглов // Интеллектуальные автоматизированные управляющие системы в биотехнологических процессах: сборник докладов всероссийской научно-практической конференции, Москва, 29 марта 2023 года. – Москва: «РОСБИОТЕХ»; ЗАО «Университетская книга», 2023. – С. 67-76.

102. Благовещенский В.Г и др. Основные этапы кастомизации формы, вкуса и цвета кондитерских изделий / В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский, А.В. Сяндюков, С.В. Киселев, М.М. Благовещенская, О.А. Крот // Интеллектуальные автоматизированные управляющие системы в биотехнологических процессах: сборник докладов всероссийской научно-практической конференции, Москва, 29 марта 2023 года. – Москва: «РОСБИОТЕХ»; - ЗАО «Университетская книга», 2023. – С. 62-67.

103. Благовещенский В.Г. Создание информативного веб-приложения для продвижения кондитерских изделий // Интеллектуальные автоматизированные управляющие системы в биотехнологических процессах: сборник докладов всероссийской научно-практической конференции, Москва, 29 марта 2023 года. – Москва: «РОСБИОТЕХ»; - ЗАО «Университетская книга», 2023. – С. 29-35.

104. Благовещенский, В. Г. Разработка трехмерных моделей конфет / В. Г. Благовещенский // Интеллектуальные автоматизированные управляющие системы в биотехнологических процессах: сборник докладов всероссийской научно-практической конференции, Москва, 29 марта 2023 года. – Москва: «РОСБИОТЕХ»; ЗАО «Университетская книга», 2023. – С. 15-28.

105. Благовещенский В.Г и др. Анализ технологического процесса производства драже как объекта автоматизации / В.М. Фетисов В.М., В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский, А.А. Борисов, М.М. Благовещенская // Роговские чтения: сборник докладов научно-практической конференции с международным участием, Москва, 16 декабря 2022 года. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2023. – С. 377-388.

106. Благовещенский В.Г и др. Использование компьютерного зрения для контроля в потоке формы готовой карамели / А.В. Кучумов, И.Г. Благовещенский, В.Г. Благовещенский, А.С. Семенов, Д.В. Талмазова // Роговские чтения: сборник докладов научно-практической конференции с международным участием, Москва, 16 декабря 2022 года. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2023. – С. 270-279.

107. Благовещенский В.Г и др. Цифровизация производства пищевых продуктов / А.В. Кучумов, И.Г. Благовещенский, В.Г. Благовещенский, П.И. Осташов, М.М. Благовещенская // Роговские чтения: сборник докладов научно-практической конференции с международным участием, Москва, 16 декабря 2022 года. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2023. – С. 262-270.

108. Благовещенский В.Г и др. 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 : сборник докладов научно-практической конференции с международным участием, Москва, 16 декабря 2022 года. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2023. – С. 253-262.

109. Благовещенский В.Г и др. Использование генетических алгоритмов для решения оптимизационных задач при производстве продукции / А.В. Кучумов, И.Г. Благовещенский, В.Г. Благовещенский, Ю.В. Зуева, И.К. Лаптев // Роговские чтения: сборник докладов научно-практической конференции с международным участием, Москва, 16 декабря 2022 года. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2023. – С. 245-253.
110. Благовещенский В.Г и др. Автоматизация контроля качества кондитерской продукции с использованием интеллектуальных технологий / А.В. Кучумов, И.Г. Благовещенский, В.Г. Благовещенский, Е.Н. Зеленова, М.А. Корнев // Роговские чтения: сборник докладов научно-практической конференции с международным участием, Москва, 16 декабря 2022 года. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2023. – С. 237-245.
111. Благовещенский В.Г и др. Алгоритмическое обеспечение нейросетевой системы оптимизации текстуры сложной структуры / А.В. Кучумов, И.Г. Благовещенский, В.Г. Благовещенский, М.М. Благовещенская, С.Е.Шкарлаков // Роговские чтения: сборник докладов НП конференции с международным участием, Москва, 16 декабря 2022 года. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2023. – С. 228-237.
112. Благовещенский В.Г и др. Использование в производственном контроле качества пищевой продукции компьютерного зрения / А.В. Кучумов, И.Г. Благовещенский, В.Г. Благовещенский, М.М. Благовещенская, Ю.В. Зуева, Д.Ф. Рычков // Роговские чтения: сборник докладов НП конференции с международным участием, Москва, 16 декабря 2022 года. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2023. – С. 217-227.
113. Благовещенский В.Г и др. Исследование возможности применения технологии искусственного интеллекта для автоматизации контроля запаха кондитерской продукции / И.В. Кротов, В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский, С.А. Мокрушин, М.М. Благовещенская, Д.В. Ломакин // Роговские чтения : сборник докладов НП конференции, Москва. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2023. – С. 208-216.
114. Благовещенский В.Г и др. Анализ технологического процесса производства ириса как объекта автоматизации / Д. Д. Козырев, В. Г. Благовещенский, И. Г. Благовещенский // Роговские чтения: сборник докладов научно-практической конференции с международным участием, Москва, 16 декабря 2022 года. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2023. – С. 183-192.
115. Благовещенский В.Г и др. Автоматизация процесса производства мармелада / И.Г. Благовещенский, В.Г. Благовещенский, С.А. Мокрушин, А.С. Попов, М.М. Благовещенская // Роговские чтения: сборник докладов НП конференции. Москва, 2022 г. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2023. – С. 126-132.
116. Благовещенский В.Г и др. Применение web-технологий для создания автоматизированных систем мониторинга производства пищевых продуктов / И.Г. Благовещенский, В.Г. Благовещенский, С.А. Мокрушин, А.О. Игольников, М.М. Благовещенская // Роговские чтения: сборник докладов НП конференции. Москва, 2022 г.. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2023. – С. 121-125
117. Благовещенский В.Г и др. 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. Москва, 2022 г. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2023. – С. 110-120.
118. Благовещенский В.Г и др. Задача автоматизации управления качеством производства мармелада и анализ методов ее решения / В.Г. Благовещенский, Д.В. Талмазова, А.С. Семенов, И.Г. Благовещенский, Е.Н. Зеленова // Роговские чтения: сборник докладов НП конференции с международным участием, Москва, 16 декабря 2022 года. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2023. – С. 99-109.
119. Благовещенский В.Г и др. Автоматизация процессов управления производством конфет козинак / В.Г. Благовещенский, С.Л. Сурин, И.Г. Благовещенский, Л.А. Крылова, Р.А. Вахитов

// Роговские чтения: сборник докладов НП конференции, Москва. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2023. – С. 86-98.

120. Благовещенский В.Г и др. Автоматизация контроля и управления производством карамельных конфет / В.Г. Благовещенский, А.С. Семенов, Д.В. Талмазова, И.Г. Благовещенский // Роговские чтения: сборник докладов НП конференции, Москва, 2022 г. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2023. – С. 75-86.

121. Благовещенский В.Г и др. 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: сборник докладов НП конференции с международным участием, Москва, 16 декабря 2022 года. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2023. – С. 61-75.

122. Благовещенский В.Г и др. 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: сборник докладов НП конференции, Москва, 2022 г. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2023. – С. 53-61.

123. Благовещенский В.Г и др. Автоматизация технологического процесса производства конфет суфле / В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский, С.А. Мокрушин // Роговские чтения: сборник докладов НП конференции, Москва, 16 декабря 2022 года. – Курск: "Университетская книга", 2023. – С. 46-53.

124. Благовещенский В.Г и др. Разработка мультиагентной имитационной модели процесса производства мармеладных конфет с использованием AnyLogic / В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский, С.А. Мокрушин, Е.Н. Зеленова // Роговские чтения: сборник докладов НП конференции с международным участием, Москва, 16 декабря 2022 года. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2023. – С. 36-46.

125. Благовещенский В.Г и др. Автоматизация управления качеством производства шоколадных конфет с использованием видеоконтроля / В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский, С.А. Мокрушин, А.М. Аднодворцев, М.В. Веселов // Роговские чтения: сборник докладов НП конференции. Москва, 2022 г. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2023. – С. 27-35.

126. Благовещенский В.Г и др. Обзор исследований в области контроля запаха пищевых продуктов / В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский, И.В. Кротов, М.М. Благовещенская, Д.М. Челноков // Роговские чтения: сборник докладов НП конференции с международным участием, Москва, 2022 г. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2023. – С. 16-27.

127. Благовещенский В.Г и др. 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: сборник докладов НП конференции с международным участием, Москва, 2022 г. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2023. – С. 9-16.