

На правах рукописи

**БЛАГОВЕЩЕНСКИЙ ВЛАДИСЛАВ GERMAHOBИЧ**

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА  
УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ХАЛВЫ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИБРИДНЫХ МЕТОДОВ И ТЕХНОЛОГИЙ**

Специальность 05.13.06 – Автоматизация и управление  
технологическими процессами и  
производствами (в пищевой промышленности)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва – 2021

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования (ФГБОУ ВО) «Московский государственный университет пищевых производств» на кафедре «Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами»

Научный руководитель: **Краснов Андрей Евгеньевич**  
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Шкапов Павел Михайлович**,  
доктор технических наук, профессор,  
ФГБОУ ВО «Московский государственный  
Технический университет имени Н.Э.  
Баумана», кафедра «Теоретическая механика»,  
заведующий кафедрой

**Долгий Николай Алексеевич**  
кандидат технических наук,  
доцент, ФГБОУ ВО "Калининградский  
государственный технический университет"

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное  
научное учреждение  
**«Федеральный научный Центр пищевых  
систем имени В.М. Горбатова»  
Российской Академии Наук**

Защита состоится «16» декабря 2021 г. в 11:00 час. на заседании Диссертационного Совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д.212.148.02 при ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет пищевых производств» по адресу: 109316, г. Москва, ул. Талалихина, д.33.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «МГУПП». С авторефератом диссертации можно ознакомиться на сайтах ВАК РФ Министерства науки и высшего образования РФ <http://vak.ed.gov.ru> и ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств» <http://mgupp.ru>.

Автореферат разослан «    »                    2021 г.

Ученый секретарь диссертационного совета  
по защите докторских и кандидатских диссертаций,  
д.т.н., профессор

Жиров М.В.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность темы

На современном этапе экономического развития Российской Федерации на первый план выходят требования к повышению качества отечественных продуктов питания, поскольку качество один из главных критериев, определяющих конкурентоспособность выпускаемой продукции на внутреннем и внешнем рынках, и, соответственно, репутацию и место производителя в профильном рейтинге.

Особенно это заметно в динамично развивающейся кондитерской промышленности, занимающей важнейшее место среди многих отраслей АПК. Основная задача управления качеством кондитерской продукции – обеспечить стабильность производственных процессов, не допустить появление брака и других несоответствий выпускаемых изделий установленным требованиям,

Однако, эффективное управление производством требует наличия достоверных данных о показателях качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции. При этом важно, чтобы данные были получены в необходимые сроки, так как оперативность, достоверность и своевременность получения данных значительно влияет на скорость и правильность принятия решений.

Важными показателями при оценке качества пищевых продуктов являются органолептические показатели (вкус, цвет, внешний вид и др.). Оценку этих свойств в настоящее время осуществляют в лабораториях предприятий органолептическим путем. Такой контроль не позволяет реализовать функции по автоматическому управлению качеством выпускаемой кондитерской продукции и имеет фактор субъективности.

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

Для исследования возможности решения данной проблемы были выбраны, исследованы и проанализированы технологические процессы производства халвы, которая является ценным пищевым продуктом, благодаря большому содержанию в ней углеводов, жира, полноценных белковых веществ, минеральных веществ и витаминов В и Е.

На сегодняшний день интеллектуальные технологии и методы их применения активно развиваются и совершенствуются. Накоплен достаточный практический и теоретический объем информации по автоматизации технологических процессов пищевых производств с использованием современных информационных технологий, которые проводили А.Н. Австриевских, И.А. Авцинов, С.И. Апанасенко, В.К. Битюков, М.М. Благовещенская, И.Г. Благовещенский, М.В. Жиров, Ю.А.

Ивашкин, Е.Б. Карелина, А.Я. Красинский, С.А. Красников, А.Е. Краснов, О.П. Красуля, А.Е., А.М. Лихтер, А.Б. Лисицин, А.С. Максимов, В.В. Митин, К.С. Мышенков, Е.А. Назойкин, М.А. Никитина, С.В. Николаева, В.О. Новицкий, Остапчук Н.В., Е.А. Прокофьев, С.Д. Савостин, А.В. Татарин, С.Г. Тихомиров, И.А. Хаустов, В.Я. Черных, Е.Д. Чертов, А.В. Шаверин, П.М. Шкапов, А.Е. Яблоков и др.

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

Однако, несмотря на проведенные исследования и значительное число публикаций, описывающих возможности использования интеллектуальных технологий, остаются нерешенными ряд проблем, связанных с созданием интеллектуальных автоматизированных систем управления качеством халвы.

Изложенное позволяет сделать вывод об актуальности темы диссертационной работы «Интеллектуальная автоматизированная система управления качеством халвы с использованием гибридных методов и технологий», а также актуальной научно-технической задачей специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в пищевой промышленности).

Диссертация соответствует паспорту специальности 05.13.06, а именно пунктам: «2. Автоматизация контроля и испытаний», «3. Методология, научные основы и формализованные методы построения автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) и т.д.», «4. Теоретические основы и методы математического моделирования организационно-технологических систем и комплексов, функциональных задач и объектов управления и их алгоритмизация», «6. Научные основы, модели и методы идентификации производственных процессов, комплексов и интегрированных систем управления», «9. Методы эффективной организации и ведения специализированного информационного и программного обеспечения АСУТП, АСУП и др., включая базы и банки данных и методы их оптимизации», «12. Методы контроля, обеспечения достоверности, защиты и резервирования информационного и программного обеспечения АСУТП, АСУП и др.», «15. Теоретические основы, методы и алгоритмы интеллектуализации решения прикладных задач при построении АСУ широкого назначения».

#### **Цель работы и задачи исследования.**

**Целью** настоящей диссертационной работы является повышение эффективности производства халвы и стабилизация ее качества на основе научного обоснования и разработки интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы с применением гибридных методов и технологий (системы технического зрения, искусственных нейронных сетей, имитационного моделирования).

**Для достижения цели были поставлены и решены следующие задачи исследований:**

- Проведение системного анализа ТП производства подсолнечной халвы как объекта автоматизации.
- Проведение экспериментальных исследований и разработка имитационных, структурно- параметрических, математических и ситуационных моделей основных этапов процессов производства подсолнечной халвы.
- Разработка и апробация методов и способов автоматического контроля основных органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой халвы с применением интеллектуальных технологий.
- Разработка информационного, математического и программного обеспечения интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы.
- Разработка технических решений для реализации интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы в процессе производства. Подбор технических средств для реализации этой интеллектуальной системы.
- Проведение практической апробации разработанных моделей, алгоритмов, способов и результатов моделирования технологических процессов производства подсолнечной халвы, а также разработанных принципов и методов создания интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы на действующем кондитерском предприятии.
- Внедрение результатов исследования в учебный процесс.

**Объектом исследования** является типовая поточная линия по производству подсолнечной халвы и процессы сбора, анализа и обработки, в том числе экспертной информации, в задачах непрерывного контроля органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых кондитерских изделий.

**Предметом исследования** и разработок являются совокупность теоретических, методологических и практических задач, связанных с созданием интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы и соответствующее информационное, математическое, алгоритмическое и программное обеспечение этой системы.

**Методы и средства исследований.** Поставленные в работе задачи решены с использованием методологических и математических основ построения интеллектуальных систем управления, методики построения реляционных баз данных, основных положений теории автоматического управления, теории нейронных сетей, теории цифровой обработки изображений, общих принципов математического 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**

К наиболее существенным научным результатам работы относятся следующие.

1. Разработаны и предложены новые функционально - структурные схемы (ФСС) формирования качества халвы с указанием необходимых точек контроля и регулирования, а также функциональные схемы автоматизации (ФСА) основных этапов процессов производства халвы с включением в эти схемы интеллектуальных датчиков автоматического контроля в потоке органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых конфет халвы.
2. На основе структурно - параметрического и мультиагентного имитационного моделирования разработаны имитационная модель и параметрические, математические и ситуационные модели основных стадий ТП производства халвы.
3. Разработаны с использованием искусственных нейронных сетей (ИНС) и систем технического зрения (СТЗ) интеллектуальные модули автоматического контроля в потоке коэффициента извлечения примесей в семенах подсолнечника и внешнего вида семян (размер, цвет, состояние поверхности, целостность) в режиме реального времени.
4. Предложена методика разработки базы данных (БД) и формирования базы знаний (БЗ) интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы в процессе ее производства.
5. Разработаны основные виды обеспечения интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы (ИАСУКХ): информационное, математическое и программное.
6. Разработана методика построения ИАСУКХ с использованием имитационного моделирования (ИМ), системы технического зрения (СТЗ) и искусственных нейронных сетей (ИНС).

#### **Практическая значимость результатов исследования.**

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

1. Разработаны интеллектуальные датчики автоматического контроля коэффициента извлечения примесей в семенах подсолнечника и внешнего вида семян (размер, цвет, состояние поверхности, целостность) в режиме реального времени.
2. Разработана база данных и база знаний ИАСУКХ.
3. Разработано информационное, математическое и программное обеспечение интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы.
4. Проработаны технические решения для реализации интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы в процессе производства. Осуществлен подбор технических средств для реализации этой интеллектуальной системы.

Разработанные методы, модели, алгоритмы, способы, структуры и программы прошли апробацию и были переданы для внедрения на кондитерских предприятиях Холдинга «Объединенные кондитеры», что

подтверждается соответствующим актом внедрения научно-технической продукции.

Полученные в рамках настоящего исследования научные и практические результаты диссертационной работы внедрены в учебном процессе кафедры «Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами» ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств» для бакалавров направлений 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств», 15.03.06 «Мехатроника и робототехника», 27.03.04 «Управление в технических системах», а также магистров направлений 09.04.01 «Информатика и вычислительная техника» и 27.04.04 «Управление в технических системах». Имеется соответствующий акт внедрения.

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

#### **Апробация работы**

Основные положения диссертационной работы были обсуждены и одобрены на: секции №1 «Цифровизация пищевой промышленности и продовольственных систем» Глобального продовольственного Форума, Москва, 2021; II международной научно-практической конференции «Цифровизация Агропромышленного комплекса», Тамбов, 2020; II международной специализированной конференции-выставке «Фабрика будущего: переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам для отраслей пищевой промышленности», МГУПП, 2020; II научно-практической конференции с международным участием «Устойчивое развитие: сектор упаковки», МГУПП, 2020; Международной научно-практической конференции «Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности», МГУПП, 2019; Conference Series. Ser. «International Meeting – Fundamental and Applied Problems of Mechanics», Bauman Moscow State Technical University, 2019; I научно-практической конференции с международным участием «Передовые пищевые технологии: состояние, тренды, точки роста», МГУПП, 2018; Научной конференции с международным участием «Современное состояние и перспективы развития упаковки в пищевой промышленности», МГУПП, 2018; V международной заочной научно-практической конференции «21 century: fundamental science and technology V»), 10-11 ноября 2017 г., North Charleston, USA; VIII Заочной научно-технической конференции «Безопасность и качество продуктов питания. Наука и образование», МГУПП, 2017; Научной конференции с международным участием «Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности России: кадры и наука», МГУПП, 2017; X Всероссийской

конференции молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям, Кемерово, 18 – 19 сентября 2017 г., Институт вычислительных технологий СО РАН; IV-ой Всероссийской студенческой научной конференции «Молодежная наука – пищевой промышленности», 22 – 23 мая 2017 г., СевКавГТУ; II международной научно – практической конференции «Автоматизация и управление технологическими и бизнес-процессами в пищевой промышленности», МГУПП, 2016.

Содержание отдельных разделов и диссертация в целом были доложены и получили одобрение на расширенных заседаниях кафедры «Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами» ФГБОУ ВО «МГУПП». По итогам данной работы подготовлены и поданы две заявки на изобретения.

### **Публикации.**

По материалам диссертации опубликовано 36 научных работ. Из них 3 входят в список Scopus, 4 статьи - в список журналов ВАК, 1 – в других изданиях, а также 28 докладов в сборниках научных докладов международных конференций.

### **Структура и объем работы.**

Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения, списка используемой литературы (117 источников) и приложений. Работа изложена на 219 страницах машинописного текста, содержит 70 рисунков, 29 таблиц и 2 акта внедрения.

### **Краткое содержание работы**

Во **введении** обосновывается актуальность темы диссертационной работы, формулируются ее цель и задачи, новизна и практическая значимость полученных результатов, оценивается степень достоверности полученных результатов, приводится список конференций, где апробировались результаты работы.

**Первая глава** посвящена анализу технологических процессов (ТП) производства халвы как объекта автоматизации. В рамках этой главы выявлены, обобщены, систематизированы и проанализированы особенности данного процесса, дана характеристика основных стадий и материальных потоков при производстве халвы. Проведена классификация основных типовых операций процесса производства халвы и выбраны факторы, определяющие эффективность этих операций и ТП в целом.

На основании полученных результатов разработана функционально - структурная схема (ФСС) влияния факторов исходного сырья, промежуточных операций на качество готовых конфет халвы на всех стадиях процесса производства (рисунок 1.1).

Проанализирована информативность всех исследованных параметров. Выявлены необходимые точки контроля и регулирования. Разработана функционально - структурная схема (ФСС) технологических процессов производства халвы на всех этапах ее производства с указанием необходимых точек контроля и регулирования (рисунок 1.2).

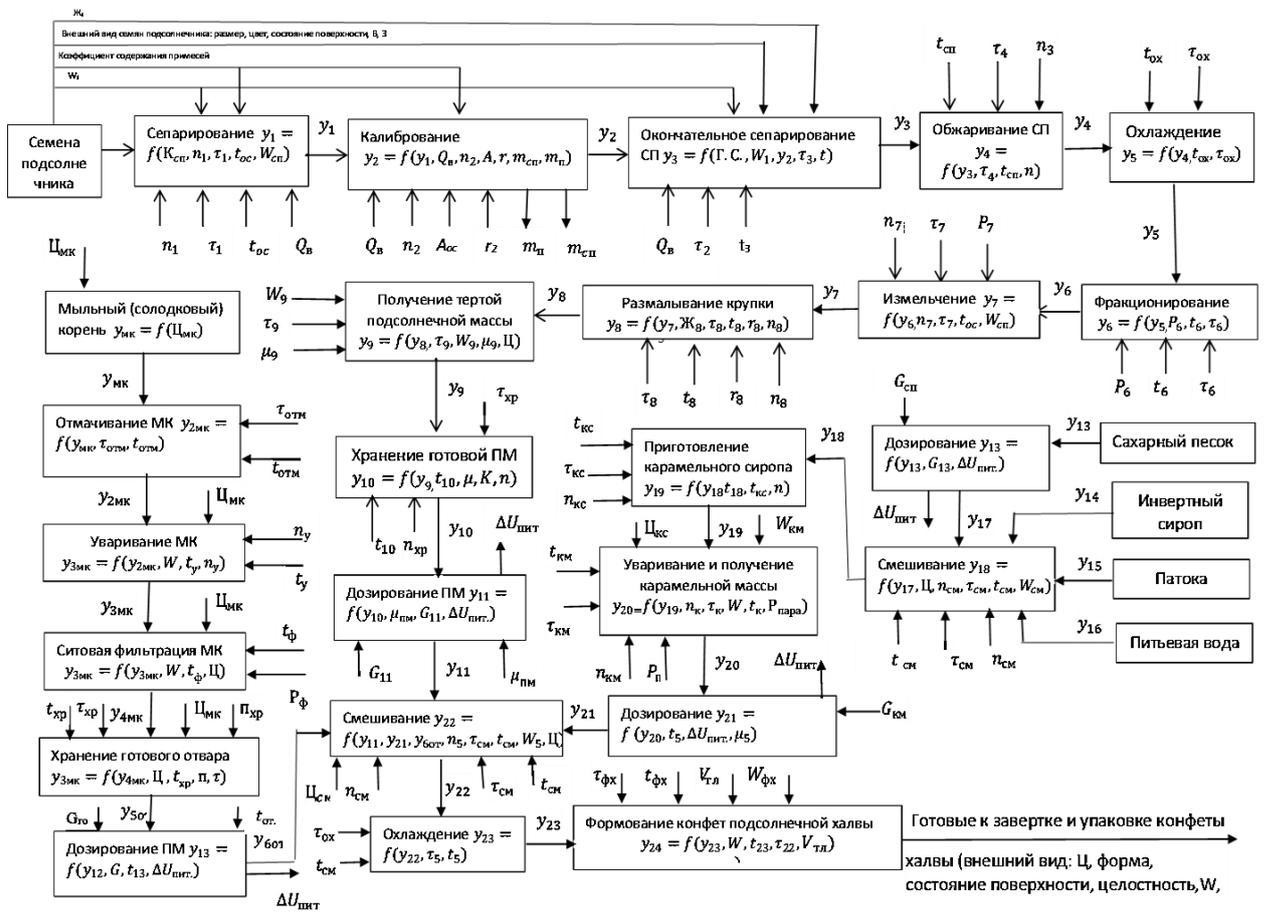


Рисунок 1.1 ФСС влияния факторов исходного сырья, промежуточных операций на качество готовой халвы на всех стадиях процесса производства

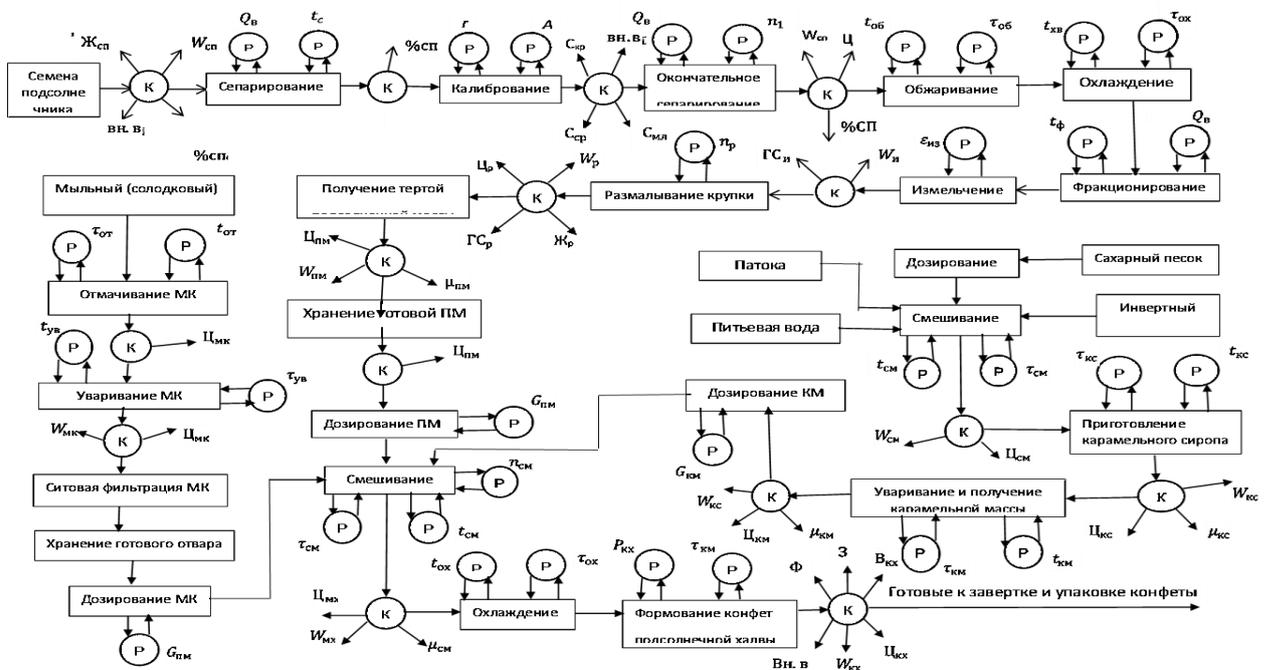


Рисунок 1.2. ФСС ТП производства халвы на всех этапах ее производства с указанием необходимых точек контроля и регулирования

Выбраны и обоснованы наиболее важные органолептические показатели качества сырья: коэффициент извлечения примеси из семян подсолнечника и

внешний вид семян (размер, цвет, состояние поверхности, целостность), которые в значительной степени влияют на качество готовой халвы. Показано, что существующие в настоящее время методы оценки этих органолептических показателей качества сырья субъективны и определяются только путем лабораторных измерений. Установлена необходимость разработки методов и средств для автоматизации контроля в потоке этих органолептических показателей с использованием интеллектуальных технологий.

Проведен анализ существующих систем управления качеством пищевой продукции на кондитерских предприятиях. Определено, что для управления такими сложными многоэтапными технологическими процессами, как производство халвы, в условиях неопределенности исходной информации, целесообразно использовать интеллектуальные методы и технологии.

Осуществлен системный анализ и сформулированы проблемы и структура данного исследования. Для понимания целей создания интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы в процессе ее производства было разработано дерево целей, представленное на рисунке 1.3.

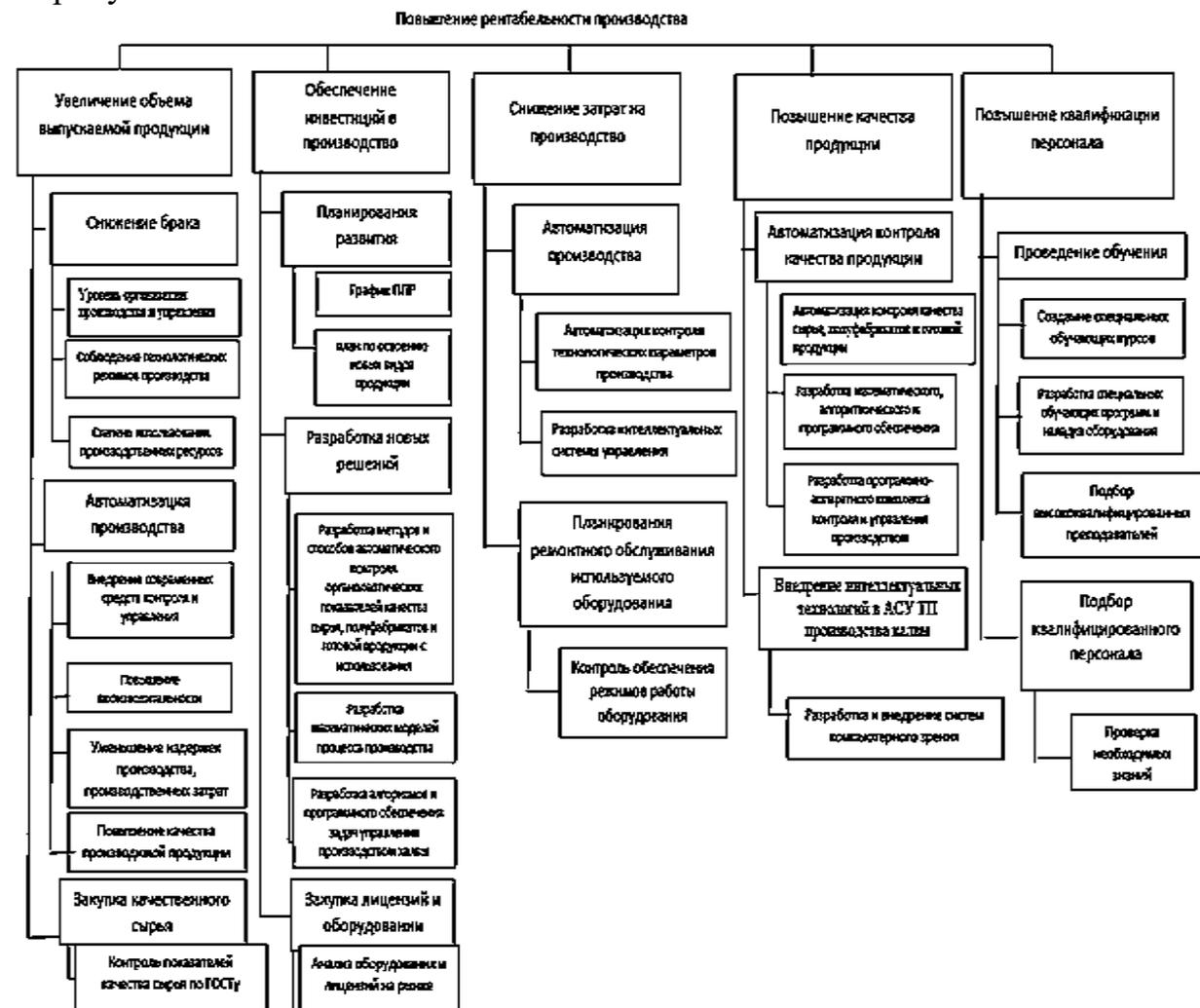


Рисунок 1.3. Дерево целей создания ИАСУКХ

Разработана системная диаграмма решения проблемы, представленная на рисунке 1.4.

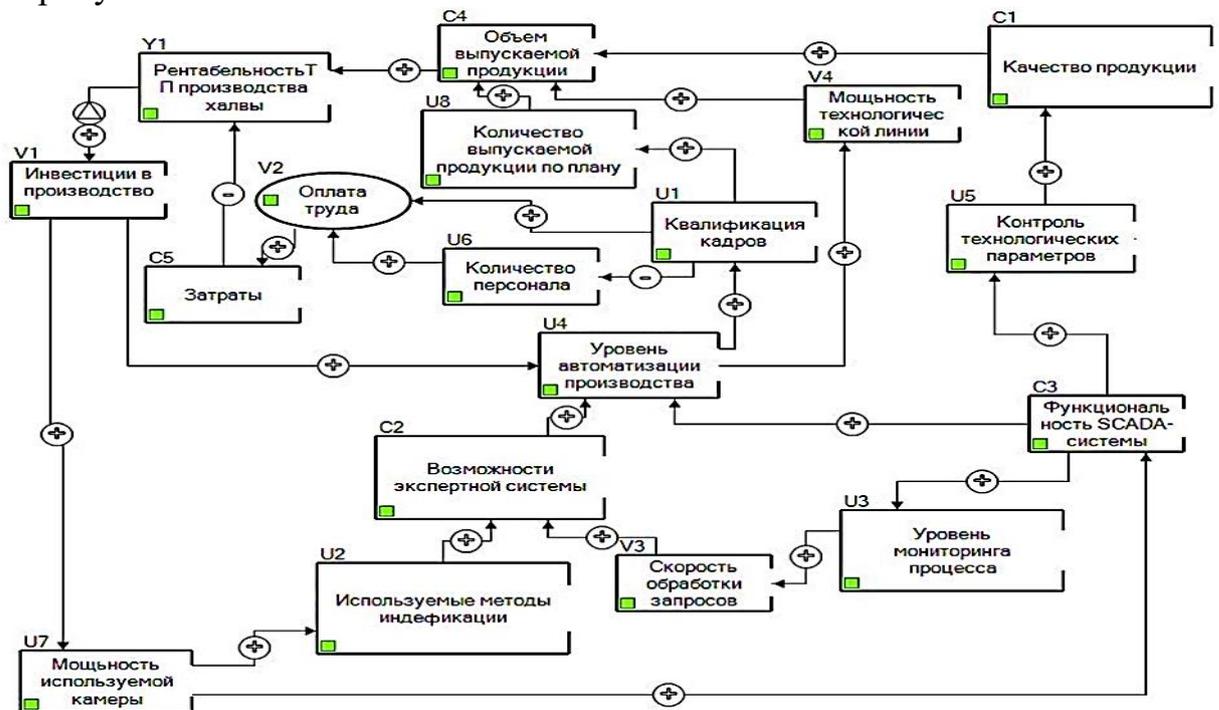


Рисунок 1.4. Системная диаграмма

(Типы маркеров, указанные слева сверху над блоком: V – множество входных возмущающих параметров; U – множество входных управляемых параметров (варьируемых параметров); C -множество параметров состояния; Y – множество выходных целевых параметров, реализуемых в виде критериев управления)

Разработана концептуальная структурно- динамическая модель системы управления качеством халвы в процессе производства, а также стратегическая карта ее создания (рисунок 1.5).

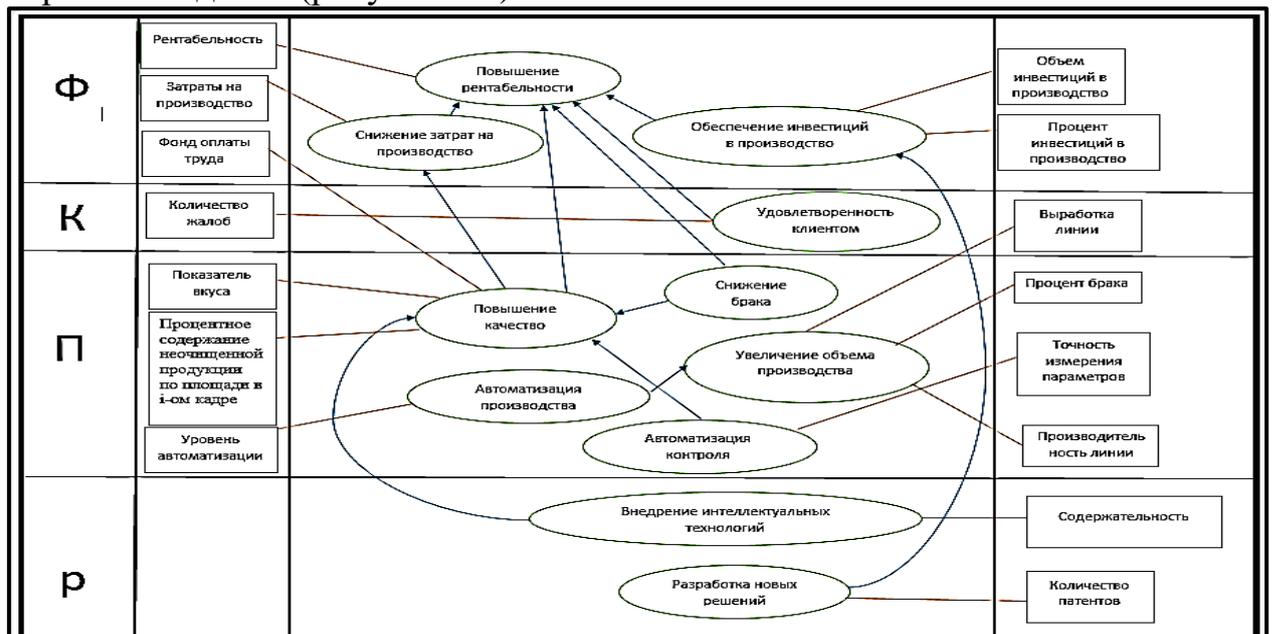


Рисунок 1.5. Стратегическая карта создания ИАСУКХ

Построение стратегической карты сводилось к распределению основных целей исследования по четырем аспектам сбалансированной системы показателей (финансы (Ф), клиенты (К), внутренние бизнес- процессы (П), обучение и развитие (Р)), а также к определению критериев достижения этих целей и их причинно-следственную связь.

С учетом проведенного всестороннего анализа проблемы автоматизации управления качеством халвы, в данной работе предлагается ее решение на основе разработки интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством производства халвы с использованием интеллектуальных гибридных методов и технологий.

**Во второй главе** проведен системный анализ методов, алгоритмов и технологий с точки зрения возможности и эффективности их использования при разработке интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы в процессе производства.

В рамках этой главы рассмотрены проблемы управления технологическими процессами производства халвы и пути их преодоления. Проведена оценка возможностей практического применения различных методов, алгоритмов и классов адаптивных систем для управления производством халвы.

Рассмотрены особенности, признаки, функции и специфика использования интеллектуальных информационных систем. Проведен анализ возможности использования методов искусственного интеллекта для решения задач интеллектуализации управления качеством производства халвы. 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 халвы.

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

Реализация поставленных задач возможна лишь при наличии математических моделей этих процессов, что позволит прогнозировать ход исследуемых ТП, определять необходимые при этом режимы работы используемого оборудования.

**Третья глава** посвящена описанию экспериментальных исследований и разработке на их базе имитационных, структурно- параметрических, математических и ситуационных моделей основных этапов процессов производства подсолнечной халвы.

Проведен анализ ТП производства халвы методом мультиагентного имитационного моделирования, являющегося одним из самых эффективных интеллектуальных методов исследования, позволяющих создать подобие реального процесса производства подсолнечной халвы с возможностью прогнозирования и идентификации этого процесса. На рисунке 3.1 представлена разработанная имитационная модель процесса производства халвы с использованием программного обеспечения (ПО) AnyLogic.

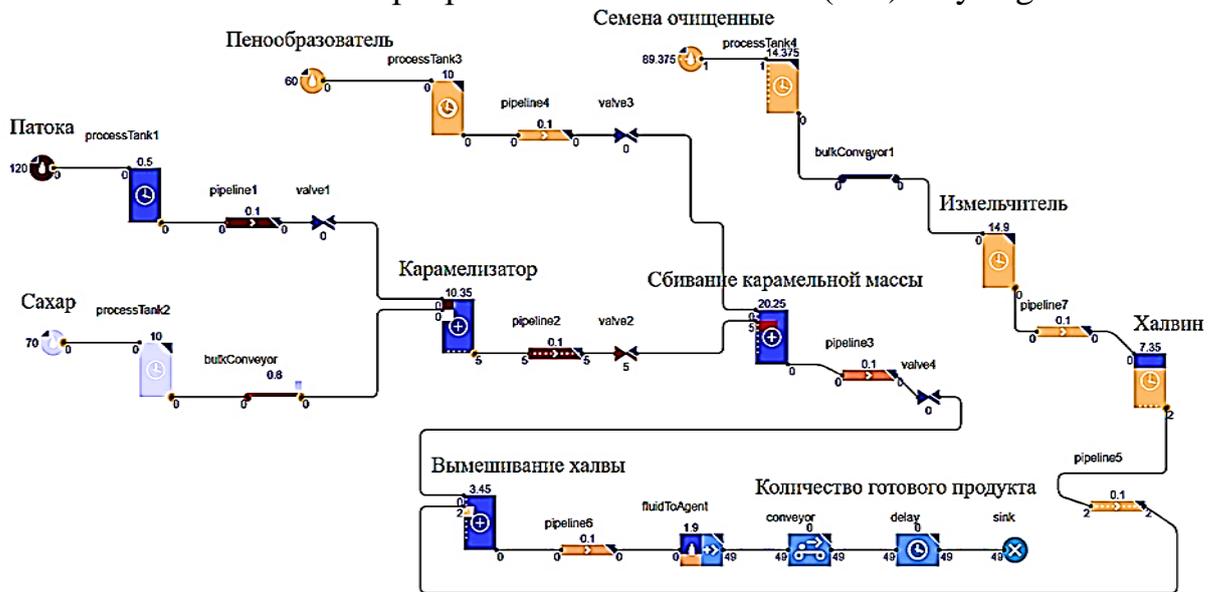


Рисунок 3.1. Имитационная модель процесса производства халвы

Мультиагентное имитационное моделирование процесса производства халвы с использованием ПО AnyLogic позволило создать динамическую модель производства с визуальным отображением исследуемых процессов. На рисунке 3.2 представлена разработанная модель производства халвы в виде двумерной графики.

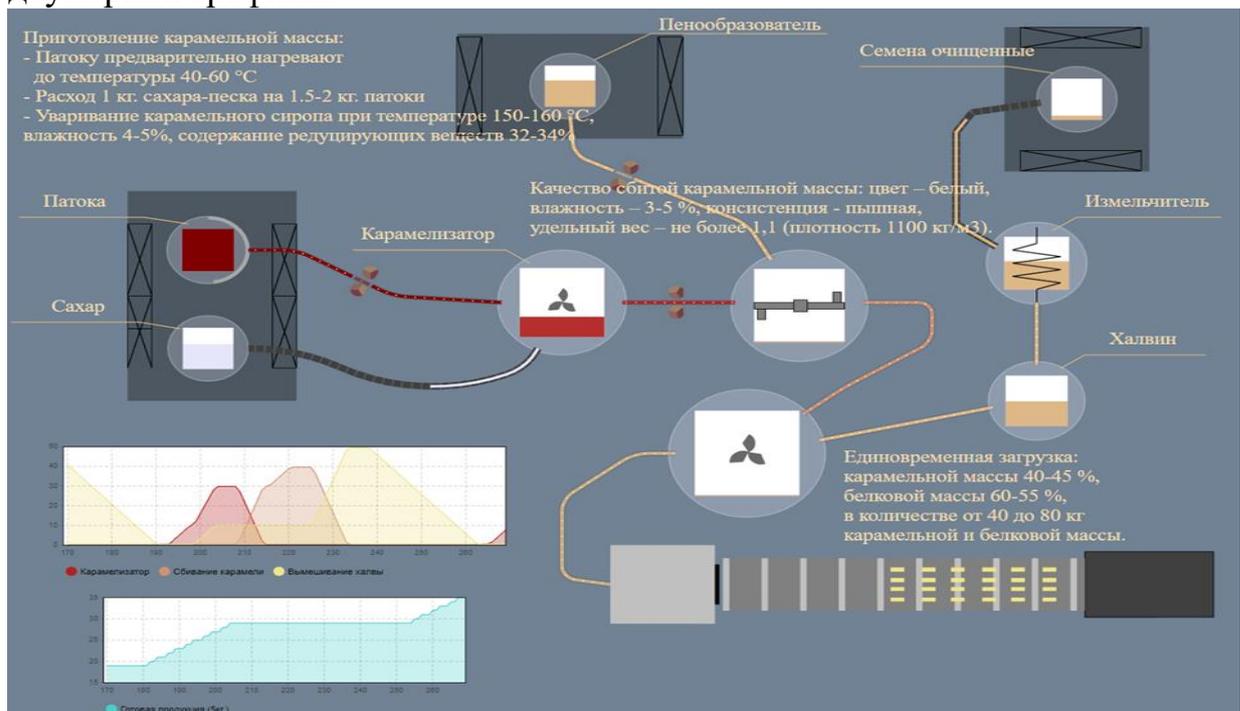


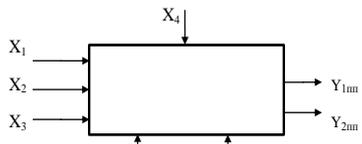
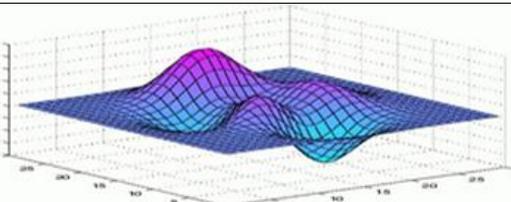
Рисунок 3.2. Модель производства халвы в формате двумерной графики

На базе полученной имитационной модели были проведены эксперименты, направленные на совершенствование исследуемого производственного процесса и его виртуальное тестирование.

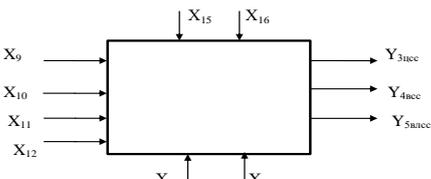
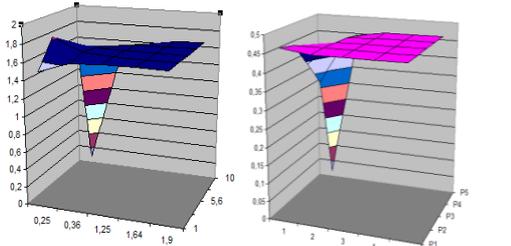
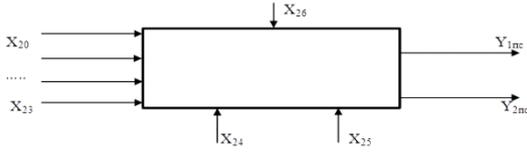
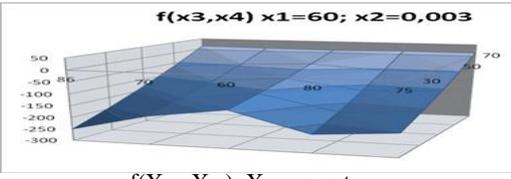
Экспериментальные исследования, проведенные на базе кондитерских предприятий, позволили получить матрицы экспертных оценок наличия связей между параметрами на отдельных участках производства подсолнечной халвы, а также выявить факторы, влияющие на качество готовых конфет халвы. Эти данные позволили разработать ситуационные модели качества всех этапов производства халвы.

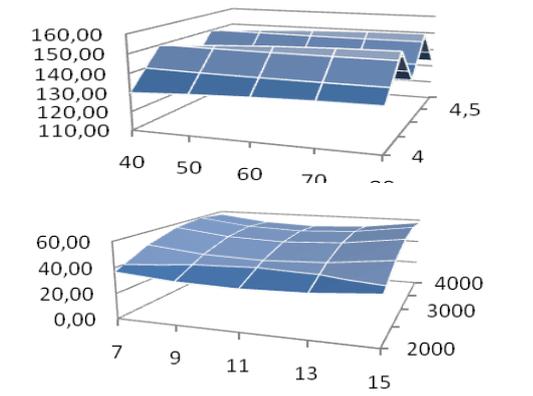
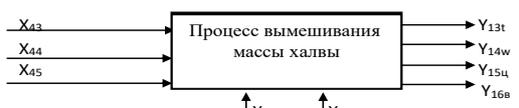
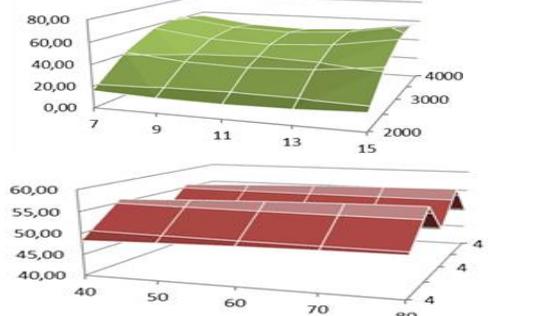
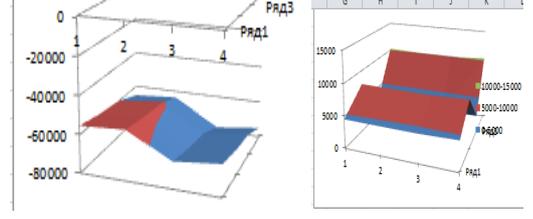
Выполнено структурно – параметрическое моделирование и разработаны структурно - параметрические и математические модели основных этапов ТП производства халвы. В таблице 3.1. представлены разработанные структурно- параметрические (СП) и математические модели (ММ) основных этапов ТП производства подсолнечной халвы.

Таблица 3.1

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><math>f(X_2, X_3); X_5 = \text{const}</math></p>

Продолжение таблицы 3.1

Стадия ТП	Структурно-параметрическая и математическая модели	Пример полученных графиков
Приготовление сахарного сиропа	 $Y_{3 \text{ ссс}} = 0,18 X_{13} + 0,44 X_{14}$ $Y_{4 \text{ ссс}} = 0,18 X_{13} - 0,52 X_{15} - 0,64 X_{16}$ $Y_{5 \text{ ссс}} = 0,74 X_{12} + 0,82 X_{15}$	 <p><math>f(X_9, X_{15}); X_7 = \text{const}</math>      <math>f(X_9, X_7); X_{15} = \text{const}</math></p>
Приготовление карамельного сиропа	 $Y_{6 \text{ в}} = 0,42 X_{22} + 0,53 X_{23} + 0,48 X_{26}$ $Y_{7 \text{ и}} = 0,81 X_{25} + 0,43 X_{26}$	 <p><math>f(X_{20}, X_{23}); X_{25} = \text{const}</math></p>

<p>Сбивание карамельно й 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>	 $Y_{13r}(X_{48}) = 0,54 X_{44} + 0,16 X_{46}$ $Y_{14w}(X_{49}) = 0,72 X_{43} + 0,39 X_{47}$ $Y_{15ц}(X_{50}) = 0,64 X_{43} + 0,26 X_{47}$ $Y_{16в}(X_{51}) = 0,22 X_{45} + 0,42 X_{46}$	
<p>Формование корпусов конфет халвы</p>	 $Y_{17h}(X_{56}) = 0,32 X_{55}$ $Y_{18в}(X_{57}) = 0,51 X_{54}$ $Y_{19ц}(X_{58}) = 0,24 X_{53}$	

На основе всех проведенных исследований и анализа структурно-параметрических матриц сопоставимых взаимосвязей  $C_{i,j}$ , где  $i, j = 1, n$ , ситуационных моделей основных этапов производства халвы и вектора контролируемых отклонений показателей состояния  $\Delta x_i$ , была сформирована ситуационная модель качества всего производства халвы (ситуационная матрица):

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

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;

$\Delta x_i^0$  – предельно допустимое отклонение от нормы.

Элементы главной диагонали матрицы отображают текущее отклонение наблюдаемых факторов от заданных значений, не диагональные составляющие - их отклонения с упорядочиванием по строкам всех причин отклонения, а по столбцам - возможные следственные влияния на другие параметры. Ситуационная матричная модель дает возможность проследить причинно - следственные влияния параметров друг на друга и показатели качества готовой халвы с формализацией алгоритмов диагностики и прогнозирования состояний технологического процесса и качества готового продукта.

В таблице 3.2 представлена разработанная обобщенная матрица функциональных связей показателей качества сырья, полуфабрикатов и халвы в форме квадратной матрицы взаимосвязей (ситуационная модель ТП производства халвы), где числовые значения, записанные обычным курсивом показывают характер связей («+») - показывают нахождение новых связей, а символ (∅) означает опровержение оценок эксперта).

Таблица 3.2

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

Основные стадии ТП производства халвы	Выходные параметры	Подготовка сырья к производству		Приготовления сахарного сиропа			Приготовления карамельного сиропа		Уваривание и сбивание карамельной массы				Вымешивание халвы				Формование халвы			
		Y <sub>1</sub> (X <sub>1</sub> )	Y <sub>2</sub> (X <sub>2</sub> )	Y <sub>3</sub> (X <sub>17</sub> )	Y <sub>4</sub> (X <sub>18</sub> )	Y <sub>5</sub> (X <sub>19</sub> )	Y <sub>6</sub> (X <sub>27</sub> )	Y <sub>7</sub> (X <sub>32</sub> )	Y <sub>8</sub> (X <sub>33</sub> )	Y <sub>9</sub> (X <sub>39</sub> )	Y <sub>10</sub> (X <sub>40</sub> )	Y <sub>11</sub> (X <sub>41</sub> )	Y <sub>12</sub> (X <sub>42</sub> )	Y <sub>13</sub> (X <sub>43</sub> )	Y <sub>14</sub> (X <sub>46</sub> )	Y <sub>15</sub> (X <sub>50</sub> )	Y <sub>16</sub> (X <sub>51</sub> )	Y <sub>17</sub> (X <sub>52</sub> )	Y <sub>18</sub> (X <sub>57</sub> )	Y <sub>19</sub> (X <sub>58</sub> )
I. Подготовка сырья к производству	Y <sub>1</sub> (X <sub>1</sub> ) - % извл. прим	1	∅	∅	∅	∅	∅													
	Y <sub>2</sub> (X <sub>2</sub> ) вн. вид	∅	1	∅	∅	∅	∅													
II. Приготовления сахарного сиропа	Y <sub>3</sub> (X <sub>17</sub> ) цвет	∅	∅	1	∅	∅	∅													
	Y <sub>4</sub> (X <sub>18</sub> ) вкус			∅	1	∅	∅													
	Y <sub>5</sub> (X <sub>19</sub> ) влажность	∅	∅	∅	∅	1	∅	∅	∅	∅										
III. Приготовления карамельного сиропа	Y <sub>6</sub> (X <sub>27</sub> ) цвет	∅	∅	∅	∅	∅	1	∅	∅											
	Y <sub>7</sub> (X <sub>32</sub> ) вкус	∅	∅	∅	∅	∅	∅	1	∅											
IV. Уваривание и сбивание карамельной массы	Y <sub>8</sub> (X <sub>33</sub> ) влажность кар. м.	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	1	∅	∅								
	Y <sub>9</sub> (X <sub>39</sub> ) Т						∅	∅	∅	∅	1	∅	∅	∅	∅	∅				
	Y <sub>10</sub> (X <sub>40</sub> ) вязкость							∅	∅	∅	∅	1	∅	∅	∅	∅				
	Y <sub>11</sub> (X <sub>41</sub> ) цвет							∅	∅	∅	∅	∅	1	∅	∅	∅				
V. Вымешивание халвы	Y <sub>12</sub> (X <sub>42</sub> ) вкус	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	1	∅	∅	∅				
	Y <sub>13</sub> (X <sub>43</sub> ) температура	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	1	∅	∅				
	Y <sub>14</sub> (X <sub>46</sub> ) влажность	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	1	∅	∅			
	Y <sub>15</sub> (X <sub>50</sub> ) цвет	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	1	∅	∅		
VI. Формование халвы	Y <sub>16</sub> (X <sub>51</sub> ) вкус	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	1	∅		
	Y <sub>17</sub> (X <sub>52</sub> ) высота халвы	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	1	∅	
	Y <sub>18</sub> (X <sub>57</sub> ) вкус	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	1	∅
	Y <sub>19</sub> (X <sub>58</sub> ) цвет	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	1

Проведенные экспериментальные исследования основных этапов ТП производства халвы позволили определить значимость входных параметров. Это дало возможность разработать функциональные схемы автоматизации с использованием интеллектуальных технологий, оптимизировать технологические режимы и обеспечить управления качеством производства халвы на современном уровне с использованием методов и технологий искусственного интеллекта.

Разработанные в данной главе имитационные, структурно-параметрические, математические и ситуационные модели являются основой создания интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы в процессе производства.

**Четвертая глава** посвящена использованию интеллектуальных технологий для автоматизации контроля в потоке органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой халвы.

Сформулированы требования к интеллектуальной автоматизированной системе управления качеством халвы (ИАСУКХ) и основные этапы ее реализации.

Разработан модуль (программно-аппаратный комплекс) автоматического контроля в потоке органолептических показателей качества сырья, включающий два интеллектуальных датчика: датчик автоматического контроля коэффициента извлечения примесей при сепарировании семян подсолнечника с использованием системы технического зрения (СТЗ) и датчик автоматического контроля внешнего вида семян подсолнечника с использованием СТЗ и нейросетевых технологий (НСТ). Разработка такого модуля позволяет использовать получаемые модулем цифровые сигналы для целей управления качеством халвы.

Для решения задачи автоматизации контроля в потоке одного из важнейших органолептических показателей качества сырья при производстве подсолнечной халвы - коэффициента извлечения примесей при сепарировании семян подсолнечника, был использован метод объектно-ориентированных языков программирования с использованием видеокамеры с микропроцессором в СТЗ.

При разработке программы для автоматического контроля в потоке коэффициента извлечения примесей при сепарировании семян подсолнечника использовалась библиотека OpenCV (Open Computer Vision) для языка программирования Java. В данной библиотеке ключевым используемым классом был класс Mat, являющийся трехмерной матрицей с большим количеством дополнительных параметров. Фрагмент разработанной программы для обработки изображения представлен на рисунке 4.1.

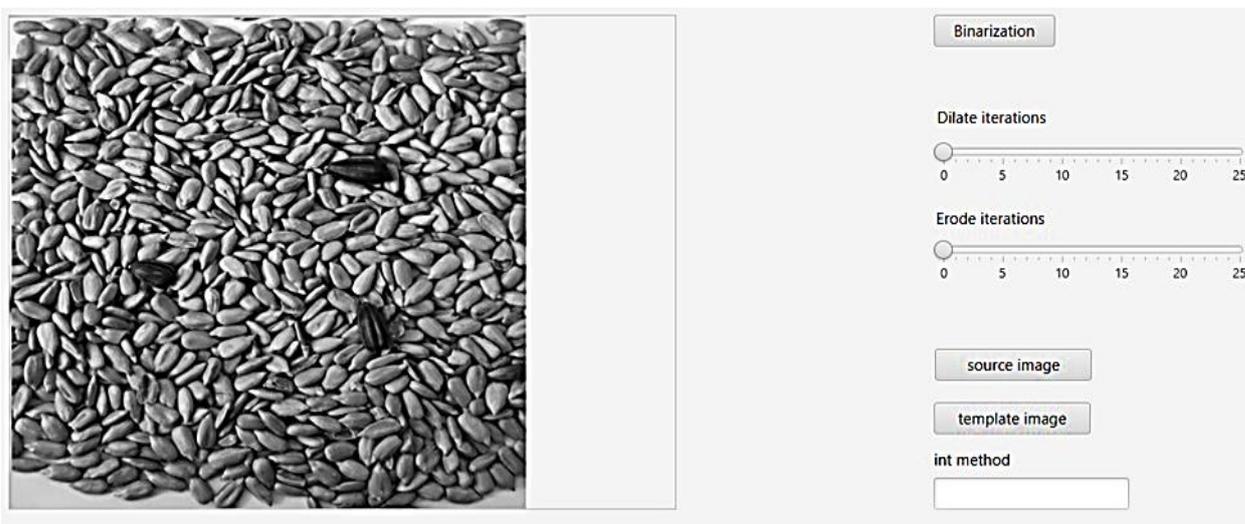


Рисунок 4.1. Фрагмент программы для обработки изображения

Для проведения операции по контролю коэффициента извлечения примесей при сепарировании семян подсолнечника символы (семена подсолнечника) были отделены от фона на изображениях. Также была проведена операция по дополнительному отсечению изображения от шума, теней, полутонов, бликов и прочего информационного мусора. Результат работы алгоритма бинаризации представлен на рисунке 4.2.



Рисунок 4.2. Результат работы алгоритма бинаризации

После подбора пороговых значений бинаризации были выполнены операции размывания (erode) и растягивания (dilate). Результат работы данных алгоритмов представлен на рисунке 4.3.

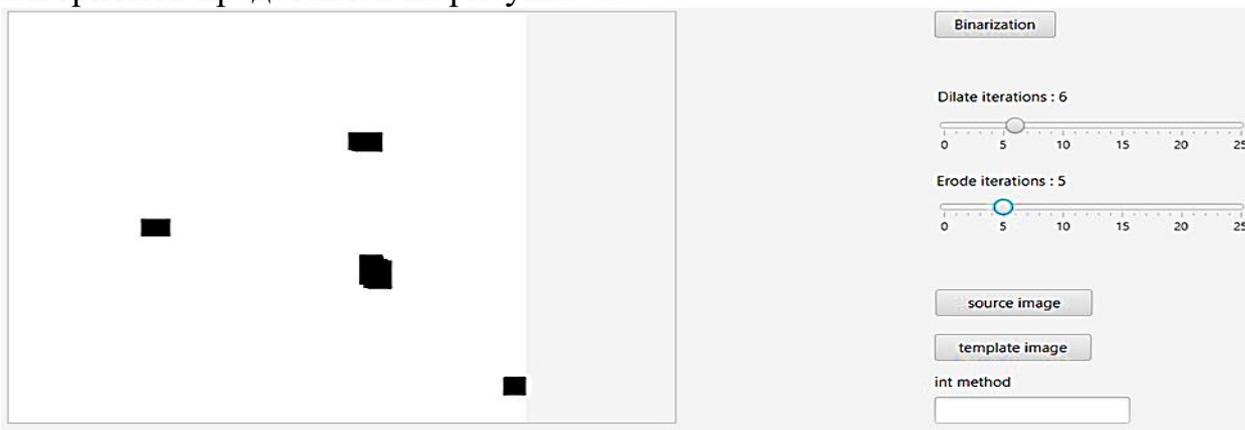


Рисунок 4.3. Результат применения методов Erode и Dilate.

Как видно на рис. 4.3 – на месте расположения оставшихся неочищенных семян подсолнечника появились черные прямоугольники, совпадающие с позицией неочищенных семян подсолнечника. Данная информация была использована для подсчета количества неочищенной продукции в кадре и автоматического определения коэффициента извлечения примесей. На основании проведенных исследований были определены оптимальные места монтажа и расположения системы технического зрения в линии производства подсолнечной халвы, а также техническое обеспечение используемой СТЗ.

Полученные данные показали возможность использования выбранных методов объектно- ориентированных языков программирования в системе технического зрения для применения в ИАСУКХ при автоматизации контроля в потоке коэффициента извлечения примесей.

Для решения поставленной задачи было решено использовать, как СТЗ, так и нейросетевые технологии. Нейронная сеть, которая использовалась для контроля примесей в сырье, является сверточной нейронной сетью, архитектура которой показана на рисунке 4.4.

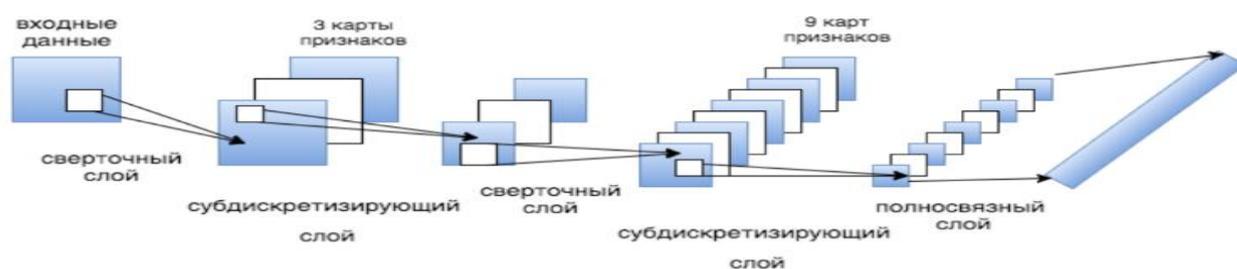


Рисунок 4.4 Сверточная нейронная сеть

Свёрточная нейронная сеть – архитектура нейронных сетей, предназначенная для эффективного распознавания изображений. Своё название сверточные сети получили из-за присутствия операции свёртки, суть которой заключается в вычислении нового значения текущего пикселя, учитывая значения соседних пикселей. Для вычисления значения текущего пикселя используется ядро свертки. Во время вычисления нового значения выбранного пикселя на него накладывается ядро свертки (матрица свертки), соседние пиксели также накрываются ядром. Далее подсчитывается сумма, где слагаемыми являются произведения значений пикселей на значения ячейки ядра, накрывшей данный пиксель. Получившийся результат суммируется и записывается в аналогичную позицию выходного изображения.

Чтобы нейронная сеть корректно работала и определяла примеси необходимо было ее обучить. Для этого был создан набор изображений семян подсолнечника с разным включением примесей, представленный на рисунке 4.5. Так как качество определения во многом зависит от набора обучающих изображений был использован метод расширения данных, который позволил увеличить этот набор, путём сдвига поворота и искажений первоначальных изображений.

После выбора архитектуры нейронной сети и создания набора обучающих изображений, был написан код. Для реализации алгоритма был выбран высокоуровневый кроссплатформенный объектно-ориентированный язык программирования Python. Для реализации обучения нейронной сети была выбрана библиотека машинного обучения TensorFlow.

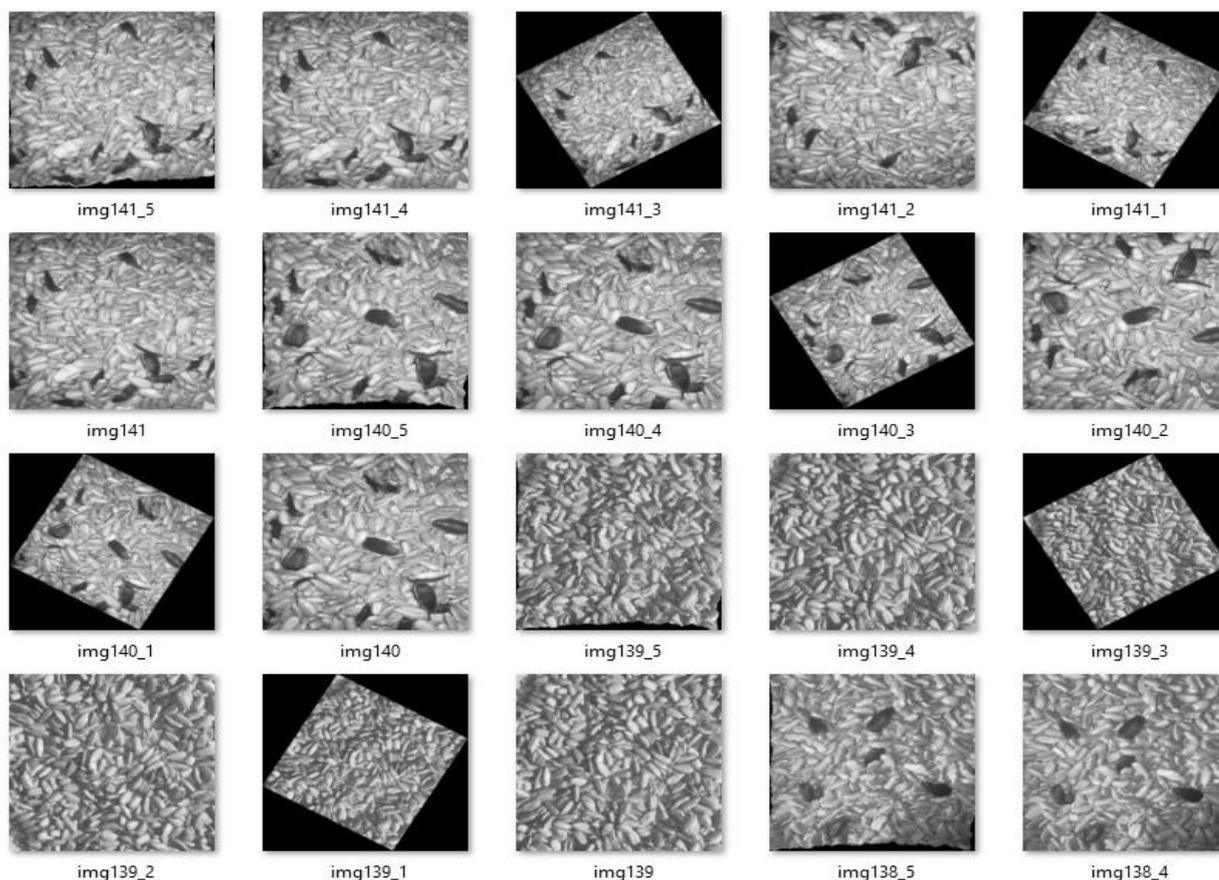


Рисунок 4.5 Создание набора изображений для обучения нейронной сети

Анализ проведенных исследований показал, что СТЗ работает с визуальной информацией, обработав которую, система получает данные, передающиеся в дальнейшем в модуль автоматического контроля органолептических показателей (АКОП) ИАСУ качеством халвы в процессе производства. В свою очередь, основываясь на этих данных, модуль АКОП строит запрос к базам знаний, и на основании полученного результата, даёт рекомендации пользователю ИАСУ.

Полученные данные показали перспективность использования методов объектно-ориентированных языков программирования в СТЗ совместно с использованием нейронной сети для применения в интеллектуальной автоматизированной системе управления качеством халвы при автоматизации контроля в потоке коэффициента извлечения примесей.

Для решения задачи автоматизации контроля внешнего вида массового количества семян подсолнечника, поступающих на производство халвы, разработан алгоритм, работающий с высокими показателями точности и скорости, представленный на рисунке 4.6.



Рисунок 4.6. Алгоритм СТЗ по распознаванию типов и видов объектов: а – режим обучения; б – рабочий режим

Были проведены исследования по использованию нейронных сетей (НС) на основе многослойного персептрона по распознавания типов и видов семян подсолнечника, полученных с использованием СТЗ. Блок-схемы нейросетевого классификатора СТЗ распознавания типов и видов семян подсолнечника представлены на рисунке 4.7.

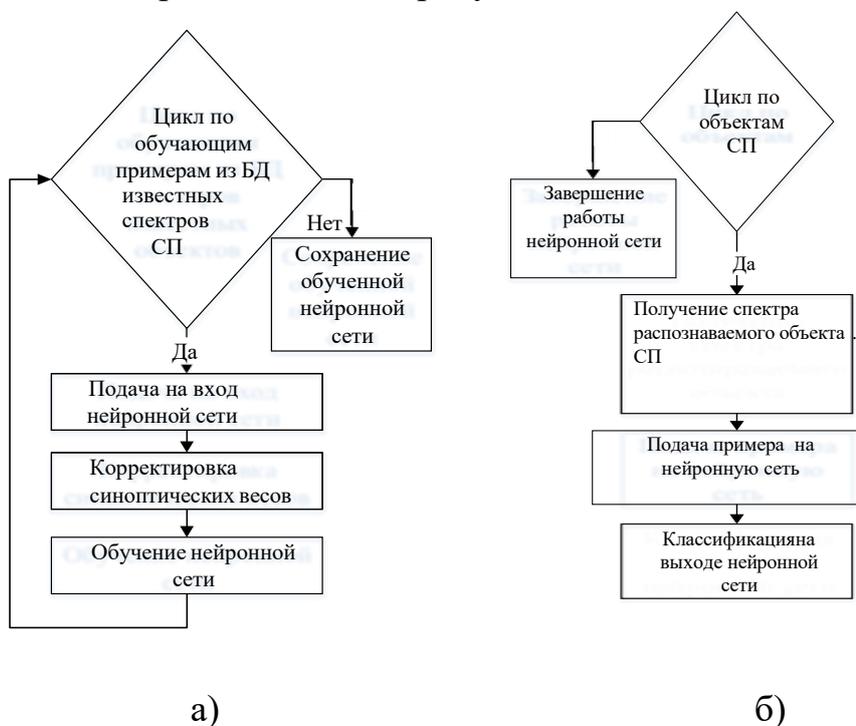


Рисунок 4.7 Подсистема классификатора СТЗ распознавания типов и видов семян подсолнечника: а – режим обучения; б – рабочий режим

Топология данного многослойного персептрона и ошибка распознавания в зависимости от количества нейронов промежуточного слоя представлены на рисунке 4.8.

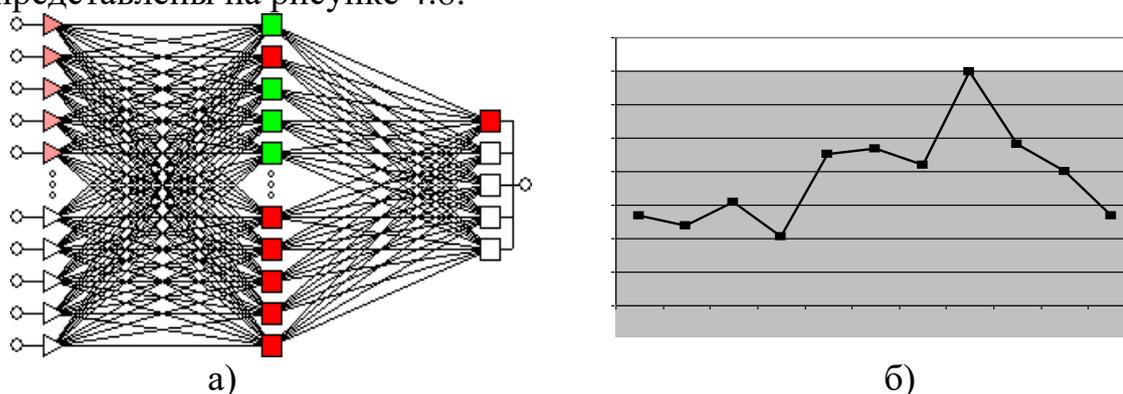


Рисунок 4.8. Структура нейронной сети и результат её работы:  
 а – топология сети; б – зависимость ошибки распознавания от количества нейронов в скрытом слое

Анализ проведенных исследований нейросетевых методов распознавания семян подсолнечника, основанных на использовании многослойного персептрона, с использованием системы технического зрения (СТЗ) показал, что точность распознавания типов и видов семян подсолнечника составляла около 90 %.

Разработан модуль автоматического контроля органолептических показателей (АКОП) качества семян подсолнечника в потоке, который имеет возможность выдавать ИАСУКХ управляющие цифровые сигналы. Общая структура модуля АКОП требуемой функциональности представлена на рисунке 4.9.

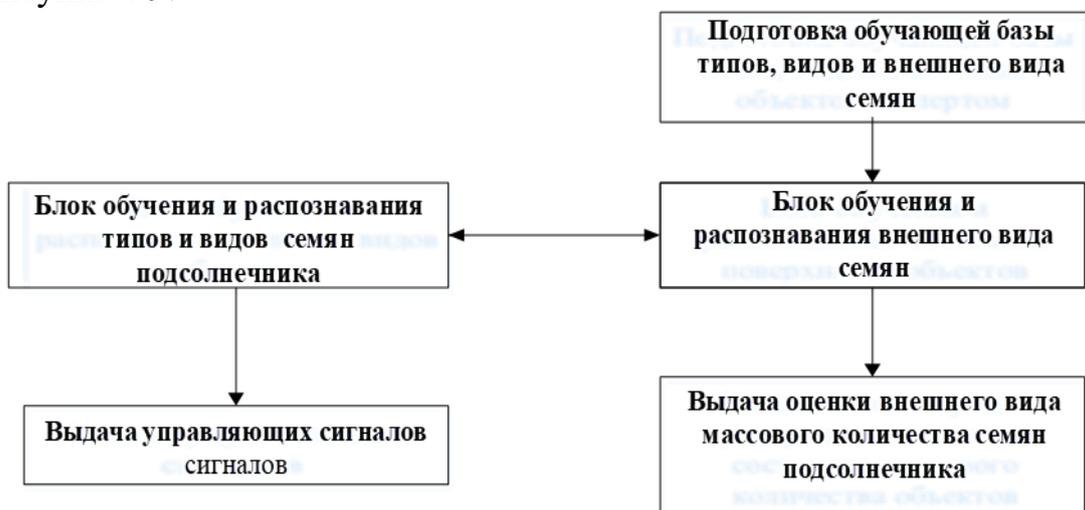


Рисунок 4.9. Общая структура модуля АКОП требуемой функциональности

Показана структурная организация модуля автоматического контроля в потоке органолептических показателей качества семян подсолнечника требуемой функциональности. Представлен необходимый состав и структурное обеспечение СТЗ (рисунок 4.10).

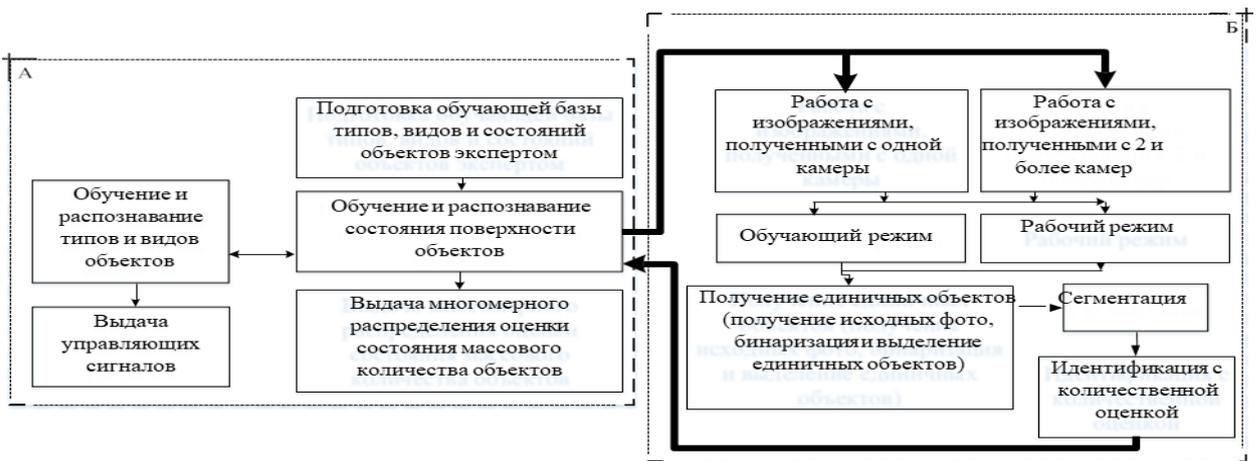


Рисунок 4.10. Структура подсистемы СТЗ: А - общая структура СТЗ; Б – подсистемы СТЗ требуемой функциональности

Приведены и проанализированы существующие схемы и архитектуры нейросетевого управления. Показано, что для решения задач управления качеством производства подсолнечной халвы необходимо применение многослойных нейронных сетей. Показаны их основные свойства. Рекомендовано для управления качеством халвы в процессе производства использование нейрорегуляторов, выполненных на базе многослойных нейронных сетей. Рекомендована для ИАСУ архитектура нейронного управления, использующая алгоритм обратного распространения.

Разработана схема системы мониторинга и управления процессом сепарирования семян подсолнечника и автоматического контроля в потоке содержания лузги, позволяющая анализировать качество получаемого после сепарирования сырья по органолептическим параметрам с помощью системы компьютерного зрения и управлять процессом сепарирования семян подсолнечника с использованием нейроконтроллера, включающего нейросетевой блок, блок анализа данных и блок управления (рисунок 4.11).

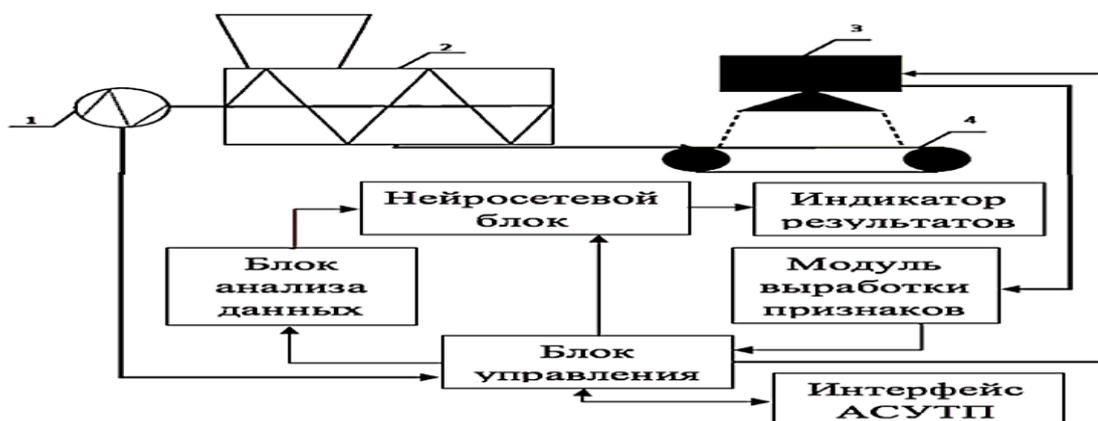


Рисунок 4.11 Схема системы мониторинга и управления процессом сепарирования семян подсолнечника

Разработана модель ТП производства подсолнечной халвы в программе CODESYS V2.3 (рисунок 4.12), которая предусматривает непрерывный цикл производства массы халвы.

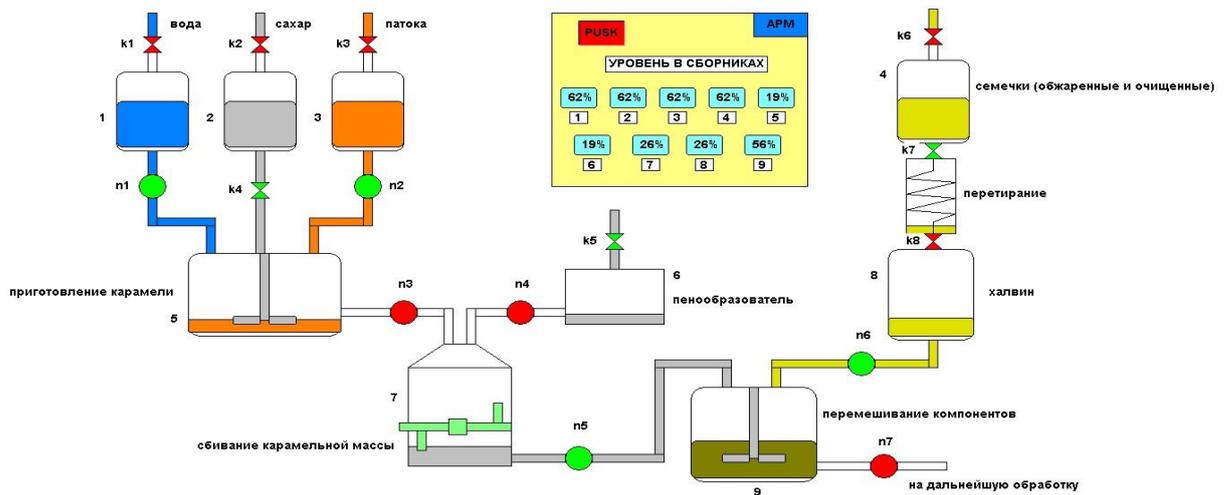


Рисунок 4.12. Модель процесса производства халвы в программе CODESYS

Исследованы и разработаны с использованием интеллектуальных технологий функциональные схемы автоматизации всех стадий ТП производства подсолнечной халвы с внесением новых решений по автоматизации контроля органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции.

**Пятая глава** посвящена разработке технических решений для реализации ИАСУКХ в процессе производства. Показаны основные задачи и требования к разрабатываемой системе, сформулированные специалистами кондитерских предприятий. Даны основные этапы ее реализации.

На основании проведенных исследований была разработана функциональная структура ИАСУКХ, представленная на рисунке 5.1.



Рисунок 5.1. Функциональная структура ИАСУК халвы

Представлены основные этапы реализации управления качеством халвы в процессе производства. Проработана методология управления качеством в условиях многоэтапного производства халвы. Разработана структурная схема ИАСУКХ.

Представлены разработанные основные виды обеспечения ИАСУКХ: информационное, математическое и программное. Проработана технология создания и взаимосвязь участников построения и эксплуатации ИАСУКХ.

Разработаны база данных (БД) и база знаний (БЗ) ИАСУКХ. Разработаны: дерево целей БД и состав основных элементов системы БД ИАСУКХ. Проработаны основные фазы и этапы проектирования БД ИАСУКХ. Представлена разработанная специализированная БД ИАСУКХ.

Сформирована база знаний ИАСУКХ показателей качества подсолнечной халвы. Осуществлен и обоснован выбор архитектуры БЗ. Представлена построенная БЗ ИАСУКХ.

Разработана архитектура ИАСУКХ. Для реализации разработанной ИАСУКХ осуществлен подбор комплекса технических средств.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ**

В ходе исследования получены следующие основные результаты:

1. Исследована и проанализирована линия производства подсолнечной халвы как объекта автоматизации. Выявлены, обобщены, систематизированы и проанализированы особенности данного производства, дана характеристика основных стадий и материальных потоков при производстве халвы.

2. Проведен системный анализ современного состояния исследований по автоматизации контроля показателей качества халвы в процессе производства.

3. Разработана функционально - структурная схема влияния показателей качества исходного сырья, промежуточных операций на качество готовой халвы на всех стадиях производства. Выявлены необходимые точки контроля и регулирования. Выбраны и обоснованы наиболее информативные органолептические показатели качества сырья, оказывающие наибольшее влияние на качество готовых конфет халвы: коэффициент извлечения примеси и внешний вид семян подсолнечника: размер, цвет, состояние поверхности, целостность.

4. Разработана структура целей, создана системная диаграмма решения проблемы, разработана концептуальная структурно- динамическая модель системы управления качеством халвы в процессе производства.

5. Рассмотрены проблемы управления качеством халвы в процессе ее производства. Показана перспективность использования гибридных методов и технологий (нейросетевых технологий, систем технического зрения и мультиагентных имитационных моделей) в решении задач интеллектуализации управления качеством производства халвы.

6. Осуществлен анализ ТП производства халвы методом мультиагентного имитационного моделирования с использованием ПО AnyLogic. Проведены экспериментальные исследования и разработаны имитационные, структурно-параметрические и математические модели основных этапов ТП производства халвы, что послужило основой создания интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы в процессе производства. Осуществлен выбор и проведено обоснование основных параметров (режимных и технологических), оказывающих наибольшее влияние на ТП производства халвы.

7. Разработан модуль (программно-аппаратный комплекс) автоматического контроля в потоке органолептических показателей качества сырья с использованием системы технического зрения (СТЗ). Предложен метод и способ контроля коэффициента извлечения примесей семян подсолнечника после процесса сепарирования с помощью СТЗ. Разработан алгоритм распознавания СТЗ внешнего вида семян подсолнечника с использованием нейросетевых технологий. Разработано программное обеспечение автоматического контроля в потоке этих органолептических показателей качества. Представлено техническое обеспечение СТЗ.

8. Разработана система мониторинга и управления процессом сепарирования семян подсолнечника и автоматического контроля в потоке содержания лузги, позволяющая анализировать качество сырья по органолептическим параметрам с помощью системы компьютерного зрения и управлять процессом сепарирования семян подсолнечника с использованием нейроконтроллера.

9. Разработаны функциональные схемы автоматизации основных стадий ТП производства халвы с внесением новых решений по автоматизации контроля органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции, что повлечёт за собой исключение возможных ошибок, минимизацию брака, расходов и трудозатрат, а также повышение качества производимой продукции.

10. Разработаны БД и БЗ ИАСУКХ.

11. Спроектирована архитектура ИАСУКХ, обеспечивающая получение данных об органолептических показателях качества сырья, полуфабрикатах в потоке и, на этом основании, принимающая решение о необходимости управления процессом производства халвы.

12. Проведена производственная проверка результатов исследования на промышленном оборудовании линии по производству подсолнечной халвы ОАО «Рот Фронт».

### ***Список работ, в которых опубликованы основные положения диссертации***

1. Благовещенский В.Г и др. Разработка структурно- параметрической модели процесса приготовления помадного сиропа при производстве халвы / Благовещенский В.Г., Благовещенский И.Г., Назойкин Е.А., Савельев В.О. // В сборнике научных докладов II международной научно- практической конференции «Автоматизация и управление технологическими и бизнес- процессами в пищевой промышленности. М.: ИК МГУПП. 2016. С. 86 – 91.

2. Благовещенский В.Г и др. Автоматизация процесса очистки семян подсолнечника при производстве халвы / Благовещенский В.Г., Благовещенский И.Г., Назойкин Е.А., Носенко А.С.//В сборнике научных докладов II международной научно- практической конференции «Автоматизация и управление технологическими и бизнес- процессами в пищевой промышленности. М.: ИК МГУПП. 2016. С. 58 – 62.

3. Благовещенский В.Г и др. Обзор используемых на пищевых предприятиях в АСУТП рабочих станций, операторских пультов и перспективы их применения

/Благовещенский И.Г., Карелина Е.Б., Петряков А.Н., Фомушкин В.И., Благовещенский В.Г.//В сборнике научных докладов II международной научно-практической конференции «Автоматизация и управление технологическими и бизнес- процессами в пищевой промышленности. М.: ИК МГУПП. 2016. С. 16 – 20.

4. Благовещенский В.Г. и др. Разработка программно-аппаратного комплекса мониторинга производства халвы/ Благовещенский В.Г., Крылова Л.А., Максимов А.С.//В книге: Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности России: кадры и наука. М.: ИК МГУПП. 2017. С. 196-199.

5. Благовещенский В.Г. и др. Разработка интеллектуальных аппаратно-программных комплексов мониторинга процессов сепарирования дисперсных пищевых масс на основе интеллектуальных технологий/ Крылова Л.А., Благовещенский В.Г., Татаринов А.В.//В книге: Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности России: кадры и наука. М.: ИК МГУПП. 2017. С.199-201.

6. Благовещенский В.Г. и др. Параметрическая модель процесса приготовления карамельной массы под избыточным давлением в змеевиково-варочной колонке/ Благовещенский И.Г., Назойкин Е.А., Савельев В.О., Благовещенский В.Г.// Сборник материалов научной общеуниверситетской студенческой конференции студентов и молодых ученых "День науки". М.: ИК МГУПП. 2017. С. 258-263.

7. Благовещенский В.Г. и др. Разработка экспертной системы контроля качества в процессе приготовления халвы/ Никитушкина М.Ю., Крылова Л.А., Благовещенский В.Г.// Сборник материалов научной общеуниверситетской студенческой конференции студентов и молодых ученых "День науки". М.: ИК МГУПП. 2017. С. 294-301.

8. 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 научной конференции студентов и молодых ученых «Живые системы и биологическая безопасность населения». М.: ИК МГУПП. 2017. С. 108-112.

9. Благовещенский В.Г. и др. Калориметр для контроля готовности шоколадных масс к отверждению, работающий в технологической линии/ Благовещенский В.Г., Благовещенская М.М., Крылова Л.А., Ионов А.В.// Сборник материалов XV международной научной конференции студентов и молодых ученых «Живые системы и биологическая безопасность населения». М.: ИК МГУПП. 2017. С. 112-116.

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

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

12. Благовещенский В.Г. и др. Применение метода объектно-ориентированного программирования для контроля показателей качества кондитерской продукции /Петряков А.Н., Благовещенская М.М., Благовещенский

В.Г., Крылова Л.А.// Кондитерское и хлебопекарное производство. 2018. № 5-6 (176). С. 21-23.

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

14. Благовещенский В.Г. и др. Исследования показателей качества помадного сиропа в процессе охлаждения / Крылова Л.А., Благовещенский В.Г., Никитушкина М.Ю.// Материалы Конференции с международным участием «Современное состояние и перспективы развития упаковки в пищевой промышленности». М.: ИК МГУПП. 2018. С. 150-155.

15. Благовещенский В.Г. и др. Автоматизация сироповарочной станции непрерывного действия / Крылова Л.А., Благовещенский В.Г., Никитушкина М.Ю. // Материалы Конференции с международным участием «Современное состояние и перспективы развития упаковки в пищевой промышленности». М.: ИК МГУПП. 2018. С. 141-144.

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

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

18. Благовещенский В.Г. и др. Постановка задачи создания интеллектуальной автоматизированной системы управления процессом производства халвы/ Благовещенский В.Г., Новицкий В.О., Крылова Л.А., Никитушкина М.Ю.// Сборник материалов конференции «Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности». М.: ИК МГУПП. 2019. С. 21-31.

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

20. Благовещенский В.Г. и др. Использование технического зрения в качестве инновационного решения в системах "умного дома"/ Гарев К.В., Благовещенский И.Г., Назойкин Е.А., Благовещенский В.Г., Макаровская З.В. // Сборник материалов конференции «Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности». М.: ИК МГУПП. 2019. С. 47-52.

21. Благовещенский В.Г. и др. Использование библиотеки OpenCV для работы с техническим зрением/ Гончаров К.А., Благовещенский И.Г., Назойкин Е.А., Благовещенский В.Г., Макаровская З.В.// Сборник материалов конференции

«Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности». М.: ИК МГУПП. 2019. С. 53-60.

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

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

24. Благовещенский В.Г. и др. Главные принципы при построении системы компьютерного зрения в пищевой промышленности/ Петров А.Ю., Благовещенская М.М., Благовещенский В.Г., Ионов А.В., Благовещенский И.Г. // Сборник материалов конференции «Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности». М.: ИК МГУПП. 2019. С. 121-126.

25. Благовещенский В.Г. и др. Повышение качества идентификации и позиционирования объекта на цифровых стерео изображениях при помощи алгоритмов построения карты глубины/ Петряков А.Н., Благовещенская М.М., Благовещенский В.Г., Митин В.В., Благовещенский И.Г. // Сборник материалов конференции «Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности». М.: ИК МГУПП. 2019. С. 133-138.

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

27. 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. Ser. "International Meeting - Fundamental and Applied Problems of Mechanics" 2019. С. 012021.

28. Благовещенский В.Г. и др. Повышение качества за счет использования SCADA системы при автоматизации процесса объемного дозирования/ Сантос Кунихан М.Р., Благовещенский И.Г., Благовещенский В.Г., Петряков А.Н. // Health, Food & Biotechnology. 2019. Т. 1. № 2. С. 121-135.

29. Благовещенский В. Г. и др. Интеллектуальный анализ данных для систем поддержки принятия решений диагностики процессов производства пищевой продукции/ Благовещенский И. Г., Благовещенский В. Г., Назойкин Е. А., Петряков А. Н // Сборник научных статей П международной научно- практической конференции «Цифровизация агропромышленного комплекса». Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ». 2020. Том I. С.105-110.

30. Благовещенский В. Г. и др. Использование методов визуальной корреляции для анализа данных от различных источников/ Благовещенский В. Г., Благовещенская М. М., Бесфамильная Е. М. // Сборник научных статей П международной научно- практической конференции «Цифровизация

агропромышленного комплекса». Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ». 2020. Том I. С.87-92.

31. Благовещенский В. Г. и др. Создание базы данных для информационно-аналитического сервиса подбора персонализированного рациона питания/ Печерский Д. К., Назойкин Е. А., Благовещенский И. Г., Благовещенский В. Г // Сборник научных статей II международной научно- практической конференции «Цифровизация агропромышленного комплекса». Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ». 2020. Том I. С.174-179.

32. 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. Сер. "Fundamental and Applied Problems of Mechanics, FAPM 2019" 2020. С. 012027.

33. 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. Сер. "Fundamental and Applied Problems of Mechanics, FAPM 2019" 2020. С. 012019.

34. Благовещенский В.Г и др. Контроль качества маркировки пищевых продуктов с использованием интеллектуальных технологий /Хамед Э.М.Т., Благовещенский И.Г., Благовещенский В.Г., Зубов Д.В.// Health, Food & Biotechnology. 2020. Т. 2. № 1. С. 112-127.

35. Благовещенский В.Г. и др. Применение нейросетевых технологий для управления качеством кондитерских изделий в процессе производства/ Благовещенский В.Г., Краснов А.Е., Баженов Е.И., Благовещенская М.М., Мокрушин С.А.//Системы управления и информационные технологии. 2021. № 3 (85). С. 37-41.

36. 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", №3 (49). С.40-52.