ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МИРЭА - РОССИЙСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «РТУ МИРЭА»)

На правах рукописи

БЛАГОВЕЩЕНСКИЙ ВЛАДИСЛАВ ГЕРМАНОВИЧ

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

Диссертация
на соискание ученой степени
доктора технических наук

Научный консультант:
доктор физико-математических наук,
профессор Краснов А.Е.

Москва – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 12

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ (ТП) ПРОИЗВОДСТВА КОНДИТЕРСКОЙ ПРОДУКЦИИ КАК ОБЪЕКТОВ АВТОМАТИЗАЦИИ. ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ 29

1.1. Выбор наиболее типичных ТП производства кондитерской продукции 29

1.2. Анализ ТП производства кондитерской продукции как объектов автоматизации 30

1.2.1. Процесс приготовления шоколада 30

1.2.2. Процесс приготовления сбивных конфет 37

1.2.3. Процесс приготовления халвы 42

1.2.4. Процесс приготовления мармелада 50

1.2.5. Процесс приготовления карамели 53

1.2.6. Процесс приготовления зефира 58

1.2.7. Процесс приготовления козинак 62

1.2.8. Процесс приготовления драже 65

1.2.9. Процесс приготовления ириса 70

1.3. Классификация основных операций ТП производства кондитерской продукции и выбор факторов, определяющих эффективность этих операций .. 74

1.4. Выявление наиболее важных органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции, контролируемых на каждой стадии производства кондитерских изделий 77

1.5. Системный анализ и формулирование проблемы 79

1.5.1. Разработка структуры целей 79

1.5.2. Создание системной диаграммы решения проблемы 83

1.5.3. Разработка концептуальной структурно- динамической модели системы контроля и управления качеством различной кондитерской продукции в процессе производства 87

1.6. Разработка стратегической карты создания ИСАКиУК кондитерской продукции 88

1.7. Выводы по 1 главе 91
1.8. Задачи исследования 93
ГЛАВА 2. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ, АЛГОРИТМОВ И ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ИАСКиУ КАЧЕСТВОМ КОНДИТЕРСКОЙ ПРОДУКЦИИ 95
2.1. Проблемы контроля и управления технологическими процессами производства кондитерских изделий и пути их преодоления 95
2.2. Оценка возможностей практического применения различных классических методов, алгоритмов и классов автоматизированных систем для управления ТП производства кондитерской продукции 96
2.3. Анализ особенностей использования методов искусственного интеллекта в решении задач автоматизации контроля и управления качеством производства кондитерской продукции 98
2.3.1. Общая характеристика методов искусственного интеллекта 98
2.3.2. Интеллектуальные информационные системы как важнейшее направление искусственного интеллекта. Особенности. Признаки. Функции. Специфика использования. 105
2.3.3. Перспективы использования гибридных интеллектуальных технологий и систем в решении задач цифровизации кондитерской промышленности 109
2.3.4. Анализ возможности интеллектуализации системы контроля и управления качеством производства кондитерской продукции 131
2.4. Выводы по 2 главе 133
ГЛАВА 3. АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ В ПОТОКЕ ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА КОНДИТЕРСКОЙ ПРОДУКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МЕТОДОВ И ТЕХНОЛОГИЙ 135
3.1. Современное состояние методов и систем контроля и управления качеством продукции на промышленных предприятиях 135
3.1.1 Понятие качество продукции 135
3.1.2. Современное состояние систем контроля и управления качеством продукции на промышленных предприятиях 136

3.1.3. Управление производством кондитерской продукции 138
3.1.4. Анализ существующих методов, способов и средств контроля органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий в процессе производства кондитерской продукции 140
3.2. Выбор наиболее важных органолептических показателей качества кондитерской продукции, подлежащих автоматическому контролю в потоке на каждой стадии производства..... 144
3.3. Оценка возможности использования новых инструментальных методов и средств контроля в интеллектуальных системах управления качеством кондитерской продукции..... 145
3.4. Автоматизация контроля в потоке основных органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий 155
3.4.1. Постановка задачи автоматического контроля в потоке органолептических показателей качества кондитерской продукции в процессе производства 155
3.4.2. Автоматизация контроля коэффициента извлечения примесей в сырье (на примере семян подсолнечника) 155
3.4.3. Автоматизация контроля в потоке внешнего вида сырья (на примере семян подсолнечника) с использованием гибридных методов и технологий.... 169
3.4.4. Автоматизация контроля угла естественного откоса 176
3.4.5. Автоматизация определение блеска поверхности кондитерских изделий 185
3.4.6. Автоматизация контроля в потоке формы конитерских изделий (на примере пористого шоколада и карамели) 191
3.4.7. Автоматизация контроля консистенции кондитерских масс 196
3.4.8. Автоматизация контроля вкуса 210
3.4.9. Автоматизация контроля запаха 215
3.4.10. Автоматизация контроля цвета 221
3.4.11. Автоматизация контроля вязкости кондитерских масс 224

3.5. Выводы по 3 главе 239
ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ, МАТЕМАТИЧЕСКИХ, СИТУАЦИОННЫХ И ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА КОНДИТЕРСКОЙ ПРОДУКЦИИ 243
4.1. Структурно – параметрические и математические модели процессов производства кондитерской продукции разной структуры 243
4.1.1. Методология построения структурно – параметрических моделей (СПМ) основных стадий производства кондитерской продукции 244
4.1.2. Структурно – параметрические и математические модели (СПММ) основных стадий ТП производства халвы 244
4.1.3. Структурно – параметрические и математические модели (СПММ) ТП производства шоколадных масс 254
4.1.4. Структурно – параметрические и математические модели ТП производства сбивных конфет 270
4.1.5. Структурно – параметрические и математические модели (СПММ) ТП производства мармелада 278
4.1.6. Структурно – параметрические и математические модели ТП производства карамели 284
4.1.7. Структурно – параметрические и математические модели производства зефира 291
4.1.8. Структурно – параметрические и математические модели ТП производства козинак 297
4.1.9. Структурно – параметрические и математические модели ТП производства драже 303
4.1.10. Структурно – параметрические и математические модели ТП производства ириса 307
4.2.Ситуационное моделирование ТП производства кондитерской продукции 313

4.2.1. Анализ ТП производства кондитерской продукции с использованием матрицы экспертных оценок влияния входных параметров на показатели качества на всех стадиях производства 313
4.2.2. Анализ ТП производства халвы с использованием матрицы экспертных оценок влияния входных параметров на показатели качества халвы на всех стадиях производства 315
4.2.3. Ситуационное моделирование ТП производства халвы 321
4.2.4. Ситуационное моделирование ТП производства шоколада 322
4.2.5. Ситуационное моделирование ТП производства сбивных конфет 324
4.2.6. Ситуационное моделирование ТП производства мармелада 327
4.2.7. Ситуационное моделирование ТП производства карамели 329
4.2.8. Ситуационное моделирование ТП производства зефира 331
4.2.9. Ситуационное моделирование ТП производства козинак 333
4.2.10. Ситуационное моделирование ТП производства драже 334
4.2.11. Ситуационное моделирование ТП производства ириса 336
4.3. Мультиагентное имитационное моделирование процесса производства кондитерской продукции с использованием ПО AnyLogic 337
4.3.1. Обоснование необходимости имитационного моделирования производства кондитерской продукции 337
4.3.2. Мультиагентная имитационная модель процесса производства халвы с использованием ПО AnyLogic 339
4.3.3. Мультиагентная имитационная модель процесса производства мармелада с использованием ПО AnyLogic 343
4.4. Выводы по 4 главе 351
ГЛАВА 5. МЕТОДИКА АВТОМАТИЗАЦИИ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОИЗВОДСТВА КОНДИТЕРСКОЙ ПРОДУКЦИИ НА ОСНОВЕ ИХ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ, МАТЕМАТИЧЕСКИХ, СИТУАЦИОННЫХ И ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ 353
5.1. Понятие цифровых двойников 353

5.2. Анализ проблемы разработки и использования в кондитерской промышленности цифровых двойников 354
5.3. Основные подходы к созданию и использованию цифровых двойников производства кондитерских изделий……..……..355
5.3.1. Место цифровых двойников в цифровизации кондитерской промышленности..... 355
5.3.2. Цифровой двойник изделия: технологии разработки 359
5.3.3. Анализ подходов к созданию цифровых двойников производства кондитерских изделий..... 363
5.3.4. Примеры применения цифровых двойников на разных этапах жизненного цикла производства кондитерских изделий……..368
5.4. Научная база создания ЦД производства кондитерских изделий..... 370
5.5. Применение разработанного комплекса инструментальных средств для создания ЦД процессов производства кондитерской продукции (на примере линии производства шоколада) 378
5.5.1. Постановка задачи 378
5.5.2. Функциональные возможности цифрового двойника..... 379
5.5.3. База для описания цифрового двойника в рамках единой технологической системы управления производством шоколада сиспользованием формата AUTOMATIONML 381
5.5.4. Применение разработанного комплекса инструментальных средств для создания ЦД процессов производства шоколада……385
5.6. Выводы по 5 главе……396
ГЛАВА 6. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ВИРТУАЛЬНОЙ, ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТЕЙ И КАСТОМИЗАЦИИ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ РАЗРАБОТКИ НОВОЙ ЛИНЕЙКИ ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННОЙ КОНДИТЕРСКОЙ ПРОДУКЦИИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ 398
6.1. Современное использование технологии кастомизации в отраслях кондитерской промышленности 398

6.2. Основные этапы кастомизации формы, вкуса и цвета кондитерских изделий 402
6.3. Разработка цифровых трехмерных моделей конфет и тестирование их кастомизации в цифровом двойнике для разработки контроля качества с помощью систеимы машинного зрения 404
6.4. Разработка платформы для кастомизации формы, цвета и вкуса кондитерских изделий 411
6.5. Создание базы данных для разработки облачной платформы хранения и редактирования трехмерных моделей конфет 419
6.6. Разработка облачной платформы для хранения и редактирования трехмерных моделей конфет 427
6.7. Создание Web-сайта с возможностью кастомизировать кондитерское изделие 431
6.8. Создание информативного Web- приложения для продвижения кондитерских изделий 437
6.9. Тенденции кастомизации кондитерской индустрии в будущем 438
6.10. Выводы по 6 главе……..439
ГЛАВА 7. СОЗДАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ КОНДИТЕРСКОЙ ПРОДУКЦИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ЕЕ РЕАЛИЗАЦИИ 442
7.1. Основные задачи интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кондитерской продукции в процессе производства .. 442
7.2. Обобщенная функциональная структура ИАСКиУК кондитерской продукции и основные этапы ее реализации 443
7.3. Разработка основных видов обеспечения ИАСКиУК кондитерской продукции 446
7.3.1. Информационная инфраструктура обеспечения ИАСКиУК кондитерской продукции 446

7.3.2. Математическая инфраструктура обеспечения ИАСКиУК кондитерской продукции 449
7.3.3. Программная инфраструктура ИАСКиУК кондитерской продукции.... 450
7.4. Программирование логического контроллера для создания ИАСКиУК кондитерской продукции (на примере подсолнечной халвы) 452
7.5. Основные этапы методики принятия решений о качестве готовых изделий в процессе производства кондитерской продукции 454
7.6. Подбор технических средств для реализации ИАСКиУК кондитерской продукции 456
7.7. Исследование и модернизация ФСА поточных линий производства кондитерской продукции..... 460
7.7.1 ФСА основных ТП производства подсолнечной халвы……..460
7.7.2. ФСА основных ТП производства помадных глазированных конфет.....465
7.7.3. ФСА производства мармелада *469*
7.7.4. ФСА ТП производства глазированного суфле 470
7.7.5. ФСА основных ТП производства шоколадных масс……..472
7.8. Выводы по 7 главе..... 473
ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ 475
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ……478
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ……479
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 – Акт внедрения НТП на кондитерских фабриках ООО «Объединенные кондитеры»……..512
ПРИЛОЖЕНИЕ 2 – Акт внедрения результатов диссертации на кондитерских фабриках ООО «Объединенные кондитеры»……513
ПРИЛОЖЕНИЕ 3 – Акт внедрения научно технической продукции на ОАО «Рот Фронт»…..……..……514
ПРИЛОЖЕНИЕ 4 – Акт внедрения научно технической продукции на ОА «Научно- исследовательский институт вычислительных комплексов имени М.А. Карцева»……..……516
ПРИЛОЖЕНИЕ 5а – Акт внедрения в учебный процесс результатов диссертационной работы в ФГБОУ ВО «РТУ МИРЭА»……..……517

ПРИЛОЖЕНИЕ 5б – Акт внедрения в учебный процесс результатов диссертационной работы в ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ»……..…….……518

ПРИЛОЖЕНИЕ 6 - Свидетельство о регистрации базы данных RU № 2024625642, 02.12.2024. Органолептические показатели качества современной кондитерской продукции….....521

ПРИЛОЖЕНИЕ 7 - Свидетельство о регистрации базы данных RU 2024626158, 19.12.2024. Реологические показатели качества современной кондитерской продукции……..522

ПРИЛОЖЕНИЕ 8 - Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2025619028, 14.04.2025. Программа мониторинга извлечения примесей при сепарировании семян подсолнечника……...523

ПРИЛОЖЕНИЕ 9 - Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2025613322, 11.02.2025. Конструктор внешнего вида и формы кондитерских изделий…….524

ПРИЛОЖЕНИЕ 10 - Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2025661081, 29.04.2025. Модуль расчета угла естественного откоса……525

ПРИЛОЖЕНИЕ 11 - Патент на изобретение RU 2770415 C1, 15.04.2022. Способ и устройство для Фурье- анализа жидких светопропускающих сред……526

ПРИЛОЖЕНИЕ 12 - Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2025614754, 25.02.2025. Модуль расчета консистенции с фиксированным таймингом……527

ПРИЛОЖЕНИЕ 13 - Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2025615894, 11.03.2025. Модуль машинного зрения для расчета консистенции……...528

ПРИЛОЖЕНИЕ 14 - Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2025682461, 22.08.2025. Модуль расчета оценки вкуса кондитерских изделий на производстве……...529

ПРИЛОЖЕНИЕ 15 - Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2025683407, 03.09.2025. Программный модуль расчета для оценки запаха кондитерских изделий на производстве……530

ПРИЛОЖЕНИЕ 16 - Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2024613819, 15.02.2024. МИКРОСПЕКТР. МОДУЛЬ 2…….531

ПРИЛОЖЕНИЕ 17 - Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2025666321, 25.06.2025. Программа для оценки цвета кондитерских изделий…….532

ПРИЛОЖЕНИЕ 18 - Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2025662616, 22.05.2025. Заявка № 2025660744 от 30.04.2025. Модуль расчета вязкости……..533

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы

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 [12, 18, 45, 49, 61].

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 [60, 108].

Кондитерские изделия в России выпускают свыше 1 тыс. фабрик, суммарный объем продукции которых превышает 3 млн. тонн в год [108, 121, 122].

Основная задача управления качеством кондитерской продукции– обеспечить стабильность производственных процессов, не допустить появление брака и других несоответствий выпускаемых кондитерских изделий установленным требованиям [18 – 21, 25, 35, 124, 125]. Поэтому для эффективного управления производством необходимо наличия 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.

Важнейшими показателями при оценке качества кондитерских продуктов являются органолептические показатели (вкус, цвет, запах, внешний вид, форма, консистенция и др.). Существующие в настоящее время методы оценки качества готовых изделий, в основном, субъективны, определяются в лабораториях кондитерских предприятий экспертами –технологами путем дегустации, ввиду невозможности технического решения по организации их измерения в режиме реального времени поточным способом. На основании проведенных исследований

выявлено, что обычно не более 40% экспертов выдерживают тесты на чувствительность органов обоняния и вкуса. Однако этот фактор очень важен для получения надежных, достоверных и сопоставимых результатов. Таким образом, существующий на кондитерских предприятиях контроль не позволяет реализовать функции по автоматическому управлению качеством готовой кондитерской продукции [108, 136, 142].

Анализ состояния автоматизации ТП кондитерских производств показывает, что на действующих предприятиях из-за частой смены ассортимента 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. Ситуация в отраслях кондитерской промышленности России требует новых подходов к решению этой важной проблемы и поиску альтернативных вариантов развития автоматизации контроля. Одно из основных направлений развития кондитерской промышленности связано с автоматизацией контроля показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий, включая и органолептические показатели. Назрела необходимость повышения объективности контроля качества кондитерских изделий за счет внедрения высокоэффективных интеллектуальных технологий в производственный процесс и создания на их базе интеллектуальных систем автоматического контроля, прогнозирования и управления, позволяющих осуществлять своевременное автоматическое изменение параметров ТП и режимов работы используемого оборудования [20, 54, 141, 144].

Для разработки таких систем необходима, в первую очередь, автоматизация контроля в потоке, в режиме реального времени, основных органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий, и создания

на этой основе систем автоматического контроля и управления с использованием технологий искусственного интеллекта.

Разработка и внедрение таких систем контроля и управления дает возможность постоянно, в потоке определять и прогнозировать качество сырья, полуфабрикатов и готовой продукции; позволяет своевременно предупреждать появление дефектов и несоответствий хода протекающих процессов производства; повышает качество производимых кондитерской продукции; существенно уменьшает потери рабочего времени и снижает уровень брака готовой продукции [1, 2, 26, 31, 53, 71].

Благодаря научным и техническим достижениям последних десятилетий, методы автоматизации стали более доступными и эффективными. На базе работ известных российских ученых: А.Н. Австриевских [2], С.И. Апанасенко [6 – 8], В.К. Битюкова [17], М.М. Благовещенской [18 – 24], И.Г. Благовещенского [60 – 69], А.Ф. Егорова [113, 114], Я.В. Иванова [123, 124], Ю.А. Ивашкина [126 – 129], Е.Б. Карелина [133, 134], С.А. Красникова [141], А.Е. Краснова [142 – 145] , О.П. Красули [146, 147], В.В. Круглова [150, 151], А.В. Маслова [170], Н.В. Мокровой [181], М.А. Никитиной [184 – 188], А.Б. Николаева [190], А.Н. Новикова [192], В.Н. Новицкого [194], А.Н. Остапчука [199], В.А. Панфилова [202], А.Н. Петрякова [204, 205], И.А. Рогова [216], С.Д. Савостина [221, 222], В.А. Терехова [225], А.В. Шаверина [240, 241] и др., накоплен значительный объем информации по автоматизации технологических процессов пищевых производств с применением искусственного интеллекта.

Развитию методов структурно- параметрического и мультиагентного моделирования, проектирования интеллектуальных систем (ИС), средств автоматического контроля (САК), баз данных (БД) и баз знаний (БЗ) в значительной степени способствовали труды следующих российских и зарубежных ученых: М.М Благовещенской [18 – 24], И.Г. Благовещенского [28, 29, 47, 48, 50 – 53, 56, 59], Ю.А. Ивашкина [126 – 129], Е.А. Назойкина [28, 29, 33, 45], М.А. Никитиной [184 – 188], А.В. Татаринова [60 – 69, 126 – 129], M.K. Agoston [259], M. S. Alamri

[261], S.M. Ali [262], I.N. Daliakopoulos [272], S. Dhrisya [273], A. N. Gorban [277], V.L. Gorohov [278], T. Kohonen [282], S. Komarinskiy [284], W. Mahnk [286], S. N. Sahasrabudheb and others [289], D.W. Sun [290], N. Thirawong and others [291], C.I. Wilson [293], S. Xiaohong and others [295], S. Jadaun and others [296].

И.Г. Благовещенским [60, 61], М.А. Никитиной [189] и Е.А. Назойкиным [129] были защищены диссертации в области математического моделирования и автоматизации пищевых производств. Исследования в области автоматизации контроля качества различной продукции проводили В.К. Битюков [17], А.Ф. Егоров [113, 114], Я.В. Иванов [123 – 125], С.А. Красников [141], А.Е. Краснов [142 – 144], А.Н. Петряков [204, 205], Т.В. Подлегаева [208], А. И. Галушкин [85, 86], А. Б. Барский [13], А.П. Олефирова [195], А.П. Олссон [197] и другие.

Были защищены диссертационные работы, посвященные вопросам использования ИНС (информационных нейронных сетей) и СКЗ (систем компьютерного зрения) в различных областях, в том числе и в пищевой промышленности. Это: д.т.н. Садовой В. В., 2007; к.т.н. Иванов Я.В., 2008; к.т.н. Шаверин А. В., 2009; к.т.н. Апанасенко С. И., 2010; к.х.н. Селиванова А. А., 2011; к.т.н. Савостин С.Д., 2014, к.т.н. Благовещенский И.Г., 2015; к.т.н. Сантос Куннихан Марио Рохелио, 2017; к.т.н. Петряков А.Н., 2017; д.т.н. Благовещенский И.Г., 2018, к.т.н. Карелина, 2018; к.т.н. Мокрушин С.А., 2019; к.т.н. Благовещенский В.Г., 2021, к.т.н. Крылова Л.А., 2022.

В настоящей работе был учтен и проработан опыт предыдущих исследований. Для развития этих направлений были использованы данные, полученные авторами указанных трудов.

В то же время, изученное нами состояние автоматизации ТП производства кондитерской продукции, показало, что научных работ по автоматизации контроля наиболее важных органолептических показателей качества кондитерских изделий в комплексе и созданием на их базе интеллектуальных систем управления не имеется.

Выпуск кондитерских изделий – это многоэтапный процесс, автоматизацию которого осуществить достаточно трудно в силу уникальных специфических свойств данной продукции [222, 243]. Многие важные проблемы автоматизации, например, в области процессов сепарирования сырья, до сих пор не рассматривались. При создании интеллектуальных систем автоматического контроля и управления качеством кондитерской продукции разнообразной структуры в режиме реального времени остаются актуальными следующие проблемы:
- отсутствие методов и средств использования интеллектуальных технологий для автоматического контроля в потоке, в режиме реального времени, основных органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции;
- отсутствие методик и примеров применения нейросетевых регуляторов для управления качеством кондитерской продукции по органолептическим показателям;
- отсутствие создания интеллектуальной системы автоматического контроля и управления качеством кондитерских изделий в процессе производства с включением всех видов ее обеспечения: информационного, математического и программного.

Для решения этих актуальных проблем была поставлена проблема разработки методов и средств автоматического контроля органолептических показателей качества кондитерской продукции различных видов и структуры (твердой, желеобразной, аморфной и др.). Выбраны и обоснованы наиболее информативные органолептические показатели контроля качества сырья, полуфабрикатов и готовых кондитерских изделий (цвет, запах, вкус, консистенция, форма полученного изделия, структура, состояние поверхности готовой продукции, блеск, вязкость, коэффициент извлечения примеси в сырье, угол естественного откоса и другие). Использование разработанных средств автоматического контроля для создания интеллектуальных систем управления качеством готовых кондитерских изделий.

Трудность решения задач автоматизации контроля в потоке различных органолептических показателей заключается в том, что кондитерские массы представляют собой сложные и неоднородные по структуре многокомпонентные смеси, состояние которых зависит от многих факторов (состава сырья, режимов работы оборудования, физико – химических, структурно-механических, реологических свойств и т.д.). Все это вызывает частые колебания технологических и режимных параметров процессов приготовления многокомпонентных кондитерских масс, что отражается на качестве готовой продукции [12, 31, 142, 35]. Существующие в настоящее время методы оценки органолептических показателей качества этих кондитерских изделий субъективны и далеки от совершенства, поскольку эта оценка осуществляется сенсорными методами путем дегустации с использованием технологов экспертов [122,138, 194, 195 222].

Успешное решение задач автоматического контроля органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции возможно лишь при создании и внедрении в производственный процесс интеллектуальных систем автоматического контроля и управления (ИСАКиУ) с использованием искусственных нейронных сетей (ИНС), систем компьютерного зрения (СКЗ), цифровых двойников, технологий виртуальной и дополненной реальности, интернета вещей, мультиагентных технологий моделирования [13, 16, 21, 22, 25, 32, 44, 46, 52, 83, 109, 128, 182,].

При этом, всё острее проявляется потребность создания таких интеллектуальной систем для решения типовых задач цифровизации производства кондитерской продукции различных видов и структуры (твердой, желеобразной, аморфной и др.).

Создание такой системы позволит: непрерывно, в режиме реального времени автоматически контролировать органолептические показатели качества сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции в течение всего технологического процесса; обеспечить стабильность производства кондитерских

изделий; существенно уменьшить уровень брака, снизить потери рабочего времени, сырья и энергии, повысить качество выпускаемой готовой продукции [20, 112, 144, 164].

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

Таким образом, исходя из вышеизложенного, тема диссертационной работы «Методологические основы автоматизации контроля органолептических показателей качества кондитерской продукции и создание на их базе интеллектуальных систем управления» является актуальным направлением цифровизации кондитерской промышленности, имеющим важное народнохозяйственное значение, и соответствующую паспорту специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами по 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».

Цель работы и задачи исследования.

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

Для реализации указанной цели были поставлены и решены следующие научно- технические задачи исследований:

1. Проанализировать объекты автоматизации, разных по структуре и видов ТП производства кондитерской продукции с целью оценки протекающих в них информационных процессов; выявление органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий, контролируемых на каждой стадии производства; обобщение и анализ факторов, нарушающих устойчивое функционирование системы, и разработка нового подхода к автоматизации контроля и управления качеством этой продукции с использованием интеллектуальных технологий.

2. Разработать структуру целей диссертации, выявить основной спектр решаемых задач, создать системную диаграмму решения проблемы, разработать концептуальную структурно-динамическую модель создания интеллектуальной системы автоматического контроля и управления качеством кондитерской продукции различной структуры в процессе производства.

3. Выявить методы, алгоритмы и технологии искусственного интеллекта для их использования при разработке интеллектуальной системы автоматического контроля и управления (ИСАКиУ) качеством кондитерской продукции.

4. Разработать инструментарий для автоматического контроля в режиме реального времени органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых кондитерских изделий.

5. Создать структурно-параметрические, математические, ситуационные и имитационные модели технологических процессов производства кондитерской продукции различной структуры для моделирования, прогнозирования и управления качеством на всех стадиях производства.

6. Цифровизировать ТП производства кондитерской продукции с использованием цифровых двойников (ЦД). Разработать методологии создания ЦД с формированием необходимых для их реализации инструментальных средств.

7. Автоматизировать создание новой линейки оригинальной персонализированной кондитерской продукции нового поколения с использованием разработанных интеллектуальных средств автоматического контроля и управления.

8. Разработать типовую интеллектуальную систему автоматического контроля и управления качеством (ИСАКиУК) кондитерской продукции.

9. Разработать информационное, математическое и программное обеспечение ИСАКиУК кондитерской продукции.

10. Интегрировать существующие АСУТП с новыми решениями оптимизационных задач на основе разработанных средств контроля и управления для внедрения в линии производства кондитерской продукции.

11. Внедрить результаты диссертационной работы в учебный процесс и научные исследования.

Объектом исследования являются ТП производства кондитерской продук-ции различной структуры и процессы сбора, анализа и обработки информации в задачах непрерывного автоматического контроля и управления каче-ством этой продукции.

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

Область исследования соответствует паспорту специальности 2.3.3 - «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами» по техническим наукам.

Методы и средства исследований. Поставленные в работе задачи решены с использованием методологических и математических основ построения интеллектуальных систем поддержки и принятия решений; 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. Широко использовались современные методы многомерного анализа данных, методики построения реляционных баз знаний; искусственного интеллекта. Компьютерная реализация разработанных алгоритмов производилась на основе объектно-ориентированного подхода. Численная и графическая обработка результатов исследований производилась с применением MatLab и Anylogic.

Научная новизна исследования

1. Определены направления цифровизации ТП производства кондитерской продукции.

2. Разработаны методологические основы анализа ТП производства кондитерской продукции разной структуры как объектов автоматизации. Разработаны функционально-структурные схемы (ФСС) влияния показателей качества исходного сырья и промежуточных операций на формирование качества готовой кондитерской продукции с указанием необходимых точек контроля и регулирования.

3. Разработана концептуальная структурно- динамическая модель интеллектуальной системы автоматического контроля и управления качеством (ИСАКиУК) различной кондитерской продукции в процессе производства и на ее основе получена стратегическая карта создания такой системы.

4. Разработана и теоретически обоснована методология создания нового поколения интеллектуальных средств автоматизации контроля основных органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции.

5. Предложены методы и способы автоматического контроля в режиме реального времени следующих органолептических показателей качества: коэффициента извлечения примесей в сырье; внешнего вида сырья и готовых изделий; угла естественного откоса; блеска поверхности готовых кондитерских изделий; формы, размера и количества изделий на транспортере; консистенции; вкуса; запаха; цвета; вязкости.

6. Проведено научное обоснование и разработан комплекс структурно – параметрических, математических, ситуационных и имитационных моделей ТП производства кондитерской продукции, позволяющий получать устойчивые решения ИСАКиУК в условиях ограниченной исходной информации.

7. Предложены научные основы автоматизации создания цифровых двойников (ЦД) ТП производства кондитерской продукции на основе их структурно-параметрических, математических, ситуационных и имитационных моделей

8. Разработаны методологические основы автоматизации создания новой линейки персонализированной кондитерской продукции нового поколения. Разработана методика автоматического перевода новых изделий в цифровую форму.

9. Разработана концепция создания ИСАКиУК кондитерской продукции.

10. Разработаны методологические основы создания типовой ИСКАиУ качеством кондитерской продукции с применением нейросетевых прогнозирующих регуляторов и техническими решениями для обеспечении работы этой системы.

11. Представлены модернизированные функциональные схемы автоматизации (ФСА) основных этапов процессов производства кондитерской продукции разной структуры с включением в эти схемы разработанных интеллектуальных средств автоматического контроля органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий.

Практическая значимость результатов исследования

Разработаны следующие программные обеспечения ИСАКиУ:

1. «Модуль расчета угла естественного откоса» (Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ RU № 2025661081, 29.04.2025).

2. «Программа мониторинга извлечения примесей при сепарировании семян подсолнечника» (Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ RU № 2025619028, 14.04.2025).

3. «МИКРОСПЕКТР. МОДУЛЬ 2» (Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ RU № 2024613819, 15.02.2024).

4. «Модуль расчета консистенции с фиксированным таймингом» (Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ RU № 2025614754, 25.02.2025).

5. «Конструктор внешнего вида и формы кондитерских изделий» (Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ RU № 2025613322, 11.02.2025).

6. «Модуль машинного зрения для расчета консистенции» (Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ RU № 2025615894, 11.03.2025).

7 «Модуль расчета вязкости» (Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ RU № 2025662616, 22.05.2025).

8. «Программа для оценки цвета кондитерских изделий» (Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU № 2025666321, 25.06.2025).

9. «Модуль расчета оценки вкуса кондитерских изделий на производстве» (Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU № 2025682461, 22.08.2025).

10. «Программный модуль расчета для оценки запаха кондитерских изделий на производстве» (Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU № 2025683407, 03.09.2025).

Разработаны базы данных:

11. «Органолептические показатели качества современной кондитерской продукции» (Свидетельство Роспатента о государственной регистрации базы данных RU № 2024625642, 02.12.2024);

12. «Реологические показатели качества современной кондитерской продукции» (Свидетельство Роспатента о государственной регистрации базы данных RU № 2024626158, 19.12.2024).

13. Получен патент на «Способ и устройство для Фурье- анализа жидких светопропускающих сред» (Патент на изобретение RU № 2770415 C1, 15.04.2022. Заявка № 2021101580, 26.01.2021).

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

Создана методика разработки и использования цифровых двойников при проектировании и эксплуатации ТП производства кондитерских изделий.

Разработана система автоматизации создания новой оригинальной персонализированной кондитерской продукции с использованием технологий виртуальной, дополненной реальностей и кастомизации.

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

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

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

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

Достоверность полученных в работе результатов подтверждается корректным использованием методов математического моделирования, системного анализа, оптимизации и теории принятия решений, экспериментальными исследованиями ТП производства кондитерской продукции разной структуры, проведенными в производственных условиях кондитерских фабрик «Рот-Фронт» и «Красный Октябрь» Холдинга «Объединенные кондитеры», обеспечивается совпадением расчетных данных и результатов эксперимента, а также примерами практической реализации и апробацией основных результатов работы на конференциях и в научной печати.

Положения, выносимые на защиту

1. Методологические основы анализа технологических процессов производства кондитерской продукции различной структуры как объектов автоматизации.
2. Методы, модели и алгоритмы построения структурно- параметрических, математических, ситуационных и имитационных моделей основных этапов ТП производства кондитерской продукции разной структуры.

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 цифровых моделей двойников автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУТП) производства кондитерских изделий разной структуры.
5. Методологические основы автоматизации создания новой линейки оригинальной персонализированной кондитерской продукции с использованием интеллектуальных технологий.
6. Методологические основы создания интеллектуальной системы автоматического контроля и управления качеством (ИСАКиУК) кондитерской продукции. Разработка комплекса методов, алгоритмов, моделей и программ, обеспечивающих работу созданной нейросетевой ИСАКиУК кондитерской продукции.
7. Модификация функциональных схем автоматизации (ФСА) основных этапов процессов производства кондитерской продукции с включением в эти схемы разработанных интеллектуальных средств автоматического контроля органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий.
8. Разработка технологического обеспечения интеллектуальной системы автоматического контроля и управления качеством кондитерской продукции.

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») ,10-11 ноября 2017 г., North Charleston, USA; конференции молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям, Кемерово, 18 – 19

сентября 2017 г., Институт вычислительных технологий СО РАН; Международной научно-практической конференции «Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности», МГУПП. 2019; Conference Series. Сер. «Inter-national Meeting – Fundamental and Applied Problems of Mechanics», Bauman Moscow State Technical University. 2019; П международной научно-практической конференции «Цифровизация Агропромышленного комплекса», Тамбов. 2020; П международной специализированной конференции- выставке «Фабрика будущего: переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам для отраслей пищевой промышленности», 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: переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам для отраслей пищевой промышленности», Москва, 2022; IУ Международной специализированной конференции – выставки «Фабрика будущего: переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам для отраслей пищевой промышленности», Москва, 2023; научно- практическая конференция с международным участием «Современные проблемы автоматизации ТП и производств», посвященная 100-летию со дня рождения Игоря Константиновича Петрова, Москва, октябрь, 2023; У Международной специализированной конференции – выставки «Фабрика будущего: переход к передовым цифровым, интеллектуальным производствен-ным технологиям, роботизированным системам для отраслей пищевой промышленности», Москва, 2024; Всероссийская конференция с международным участием «Автоматизированные системы управления биотехзнологическими процессами», Москва, 11.12.2024; УI Международная НТ конференция «Фабрика будущего», Москва, 2025.

На различных этапах выполнения содержание отдельных разделов, результаты исследований и диссертация в целом были доложены и получили одобрение на расширенных заседаниях кафедры «Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами» ФГБОУ ВО «Российский биотехнологиче-ский университет».

Личное участие автора. Диссертационная работа является обобщением научных исследований, проведенных в 2015 – 2025гг. лично автором и при его непосредственном участии.

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

Структура и объем работы.

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

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ (ТП) ПРОИЗВОДСТВА КОНДИТЕРСКОЙ ПРОДУКЦИИ КАК ОБЪЕКТОВ АВТОМАТИЗАЦИИ. ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Первым этапом разработки интеллектуальной системы автоматического контроля и управления качеством кондитерской продукции является анализ ТП производства этой продукции как объектов автоматизации.

Кондитерские изделия подразделяются на сахаристые и мучные [108, 121, 122, 138]. К сахаристым кондитерским изделиям, в соответствии с ГОСТ Р 53041-2008 [95], относят: конфеты, карамель, ирис, драже, халва, мармелад, кондитерские плитки, кондитерские фигуры, сбивные изделия, восточные сладости и др. Сахаристые кондитерские изделия бывают с полным или частичным покрытием шоколадом, глазурью или неглазированные. В данной работе рассмотрены ТП производства сахаристых кондитерских изделий разной структуры.

1.1. Выбор наиболее типичных ТП производства кондитерской продукции

Кондитерские изделия представляют собой большую группу разнообразных высококалорийных продуктов питания, которые регулярно потребляются практически всеми группами населения различных возрастов [136,138,140, 227].

В последние несколько лет рынок кондитерской продукции стабильно развивается [174]. В отрасли проводится целенаправленная работа по оптимизации производства как традиционно производимых конфет, так и совершенно новых сортов. Идёт цифровизация отраслей кондитерской промышленности, активное внедрение современных интеллектуальных технологий, способствующих повышению качества производимой продукции [12, 18, 25, 60, 61, 112, 197]. Подробный анализ особенностей и закономерностей ТП производства кондитерской продукции, приведенный в наших статьях [25 - 59] показал, что определение органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых кондитерских изделий осуществляется в настоящее время технологами экспертами сенсорными методами с использованием дегустационного анализа.

Из всего многообразия процессов приготовления кондитерских изделий были отобраны конфеты различной структуры и ассортимента. Это: ТП производства шоколада, в том числе пористого; ТП производства сбивных масс (суфле, птичье молоко); ТП производства халвы; ТП производства мармелада; ТП производства карамели; ТП производства зефира; ТП производства козинак; ТП производства драже и ТП производства ириса.

Таким образом, нами были выбраны для исследования и анализа как объектов автоматизации всевозможные виды кондитерской продукции, значительно различающиеся состоянием их структуры:

- аморфное или твердое состояние: леденцовая карамель, грильяж, ирисная масса (твердая или полутвердая), халва;
- в виде мелких кристалликов, которые находятся в насыщенном растворе сахарозы: конфетные массы, ирис;
- в виде органозолей: конфеты с фруктово-ягодной или ликерной начинкой;
- в виде органозолей желеобразной структуры, студнеобразной консистенции, переходящих в гель: мармелад;
- в виде пенообразной структуры с нежной кремообразной консистенцией, переходящей в гель: пастила, зефир и суфле;
- в виде суспензии: шоколадные массы, пралине.

Выбор именно этих основных производств объясняется, во первых, тем, что они охватывают практически весь спектр разнообразного ассортимента производимых в России конфет. Во вторых, данная кондитерская продукция является наиболее потребляемой не только в нашей стране, но и в странах СНГ [227].

1.2. Анализ ТП производства кондитерской продукции как объектов автоматизации

1.2.1. Процесс приготовления шоколада

Производство шоколадных масс является одним из определяющих процессов приготовления самых разнообразных типов конфет [136]. Шоколад богат железом и магнием.100- граммовая плитка шоколада содержит 70 – 80 % железа из 67% рекомендуемой суточной нормы его потребления и 58% магния [196].

На рисунке 1.1 представлена машинно-аппаратурная схема линии производства шоколада [136].

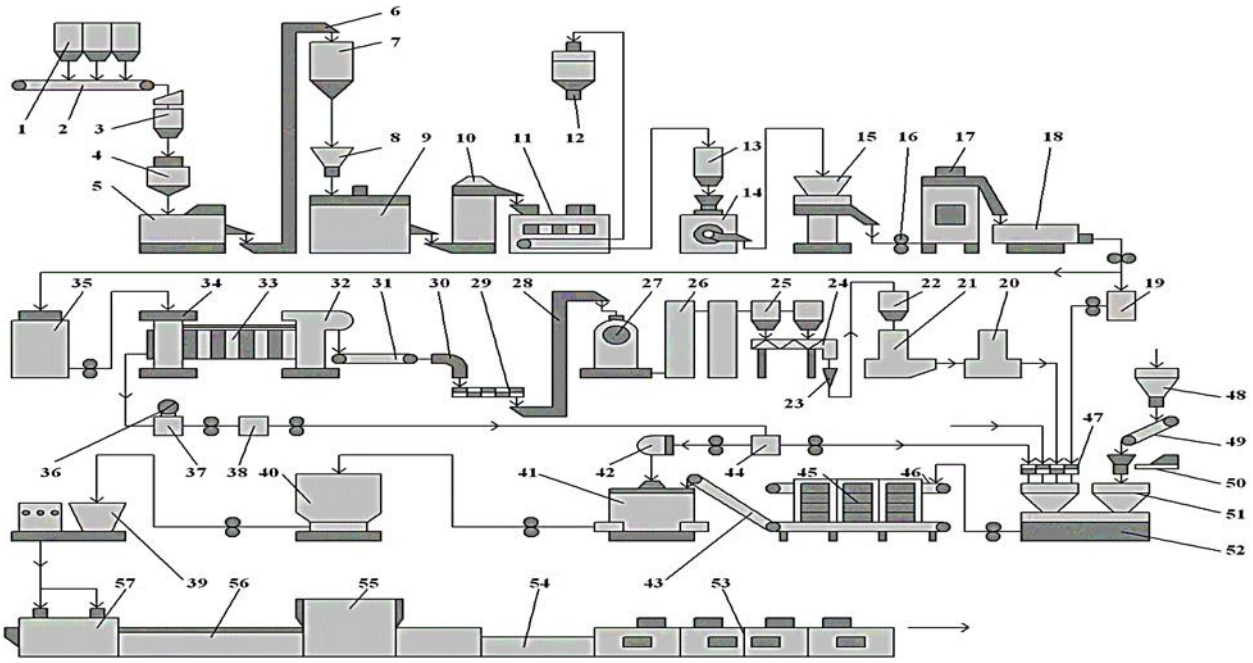


Рисунок 1.1 - Машинно-аппаратурная схема линии производства шоколада

Какао-бобы выгружают из расходных бункеров 1 и передают конвейером 2 на взвешивание автоматическими весами 3. Далее через бункер-питатель 4 бобы поступают в очистительно-сортировочную машину 5. В ней какао-бобы очищаются от посторонних примесей и сортируются по размерам. Отсортированные какао-бобы выгружают из машины 5 через магнитный уловитель и норией 6 подают в промежуточный бункер 7 для передачи на термическую обработку. В обжарочный аппарат 9 какао-бобы подаются питателем 8 из бункера 7. Термическая обработка бобов заключается в их обжаривании горячим воздухом температурой 130…180°С, но температура самих бобов должна быть не выше 125°С. При таком температурном режиме влажность какао-бобов уменьшается от 6…8 до

2,5…3,0%, увеличивается хрупкость ядра и оболочки (какаовеллы). Происходит отделение какаовеллы от ядра.

В результате обжаривания бобов появляются ароматообразующие вещества, удаляются неприятные летучие кислоты и происходят другие химические изменения, определяющие цвет, вкус и аромат какао-бобов. Обжаривание различных по размеру и форме какао-бобов и их частей требует разной продолжительности их обработки.

Обжаренные какао-бобы в аппарате 9 подвергаются быстрому охлаждению до температуры 25…30°С, что увеличивает хрупкость бобов, снижает окисление какао-масла и препятствует диффузии масла в какаовеллу. Далее бобы норией 10 загружаются в дробильно-очистительно-сортировочную машину 11, в которой они дробятся на кусочки размером от 0,75 до 8 мм. В аспирационных каналах машины 11 при помощи воздушного потока от крупки отвеивается какаовелла. Из машины 11 какаовелла поступает в циклон 12, после отделения от воздуха она выгружается в мешки и отправляется на утилизацию.

Какао-крупка пневмотранспортером подается в расходный бункер 13. Далее какао-крупка последовательно измельчается на трех мельницах: ударно-штифтовой 14, дисковой 75 и шариковой 77. В мельнице 14 крупка подвергается предварительному измельчению и поступает на истирание между дисками мельницы 75. В ней получается грубодисперсное какао тертое, которое насосом 16 нагнетается в шариковую мельницу 17 для тонкого измельчения. Готовая тертая масса собирается в темперирующем сборнике 18, из которого может перекачиваться насосом либо в сборник 35 для получения какао-масла и какао-порошка, либо в сборник 19 для производства шоколада.

Какао тертое, предназначенное для получения какао-масла, хранится в темперирующем сборнике 35 при температуре 85…90°С в течение не менее 8 ч. В результате многочасового вымешивания и нагревания влажность какао тертого снижается до 1,5%, уменьшается его вязкость и облегчается отделение какао-

масла. Из сборника 35 какао тертое насосом перекачивается в дозирующую емкость 34, из которой поступает в рабочие камеры 33 гидравлического пресса 32. Прессование ведут при температуре какао тертого 90… 95°С. Продолжительность прессования от 15 до 20 мин при повышении давления в конце прессования до 35…45 МПа.

Приготовление шоколадной массы начинается с формирования рецептурной смеси в соответствии с утвержденной рецептурой. Из темперирующих сборников жидкие компоненты (какао тертое, какао-масло и др.) насосами подаются в дозаторы 47 рецептурно-смесительной установки 52. В дозаторы 50 загружают сахар, сухое молоко и другие сыпучие компоненты. Сахар подается в виде предварительно приготовленной сахарной пудры с размерами частиц не более 80 мкм. В результате смешивания компонентов необходимо получить однородную массу температурой 35…45°С с пластичной тестообразной консистенцией. Такая масса непрерывно поступает на конвейер 46 и распределяется на пятивалковые мельницы 45. Качество шоколада существенно зависит от степени измельчения рецептурной смеси: чем меньше размер твердых частиц, тем выше качество. Размер частиц не должен превышать 35 мкм, а шоколадная масса в зависимости от вида вырабатываемого шоколада должна содержать от 92 до 97% частиц размером менее 20 мкм. В процессе измельчения в мельнице 45 наблюдается изменение жидкой консистенции загружаемой рецептурной смеси в порошкообразной продукт. Измельченная масса ссыпается на непрерывно движущийся конвейер 43 со стальной лентой, который направляет продукт на разведение, гомогенизацию и конширование в ротационную коншмашину 41. Процессы разведения шоколадной массы какао-маслом с добавлением поверхностно-активных веществ (ПАВ), гомогенизация и конширование шоколадных масс осуществляются одновременно. Продолжительность вымешивания устанавливают в зависимости от типа применяемого оборудования и вида обрабатываемой массы.

Далее оттемперированная шоколадная масса подается в агрегат для формования шоколада, состоящий из отливочной машины 57, цепного конвейера с формами и охлаждающего аппарата 55. Отливочная машина дозируют определенные порции шоколадной массы в жесткие формы. Благодаря вибрационной обработке форм в течение 3…5 мин шоколад приобретает темный цвет и блестящую поверхность. При низкой температуре воздуха изделие имеет блестящую зеркальную поверхность. Шоколадные плитки, имеющие температуру, близкую к температуре воздуха цеха, далее направляют на завертку. Если вышедшая из охлаждающего аппарата плитка шоколада имеет температуру ниже точки росы воздуха в цехе, то поверхность плитки приобретает неприятный серый налет - сахарное поседение шоколада.

Анализ машинно-аппаратурной схемы линии производства шоколада позволил определить следующие основные стадии, представленные на рисунке 1.2.

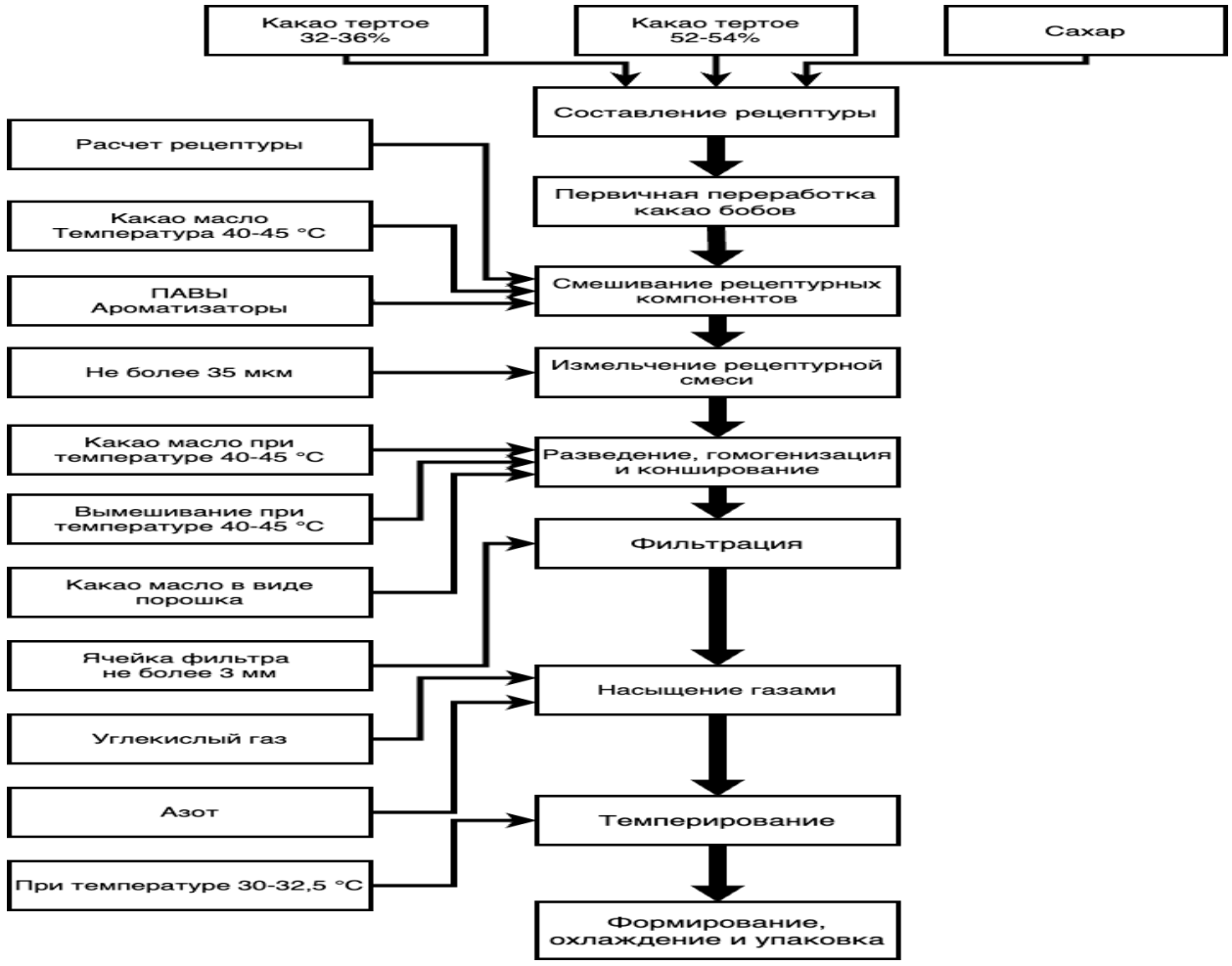


Рисунок 1.2 - Основные стадии процесса производства пористого шоколада.

Проведенные экспериментальные исследования производства шоколада, подробно описанные в наших работах [35, 36], позволили разработать функционально-структурную схему (ФСС) влияния показателей качества сырья и промежуточных операций, на качество готового шоколада (рисунок 1.3).

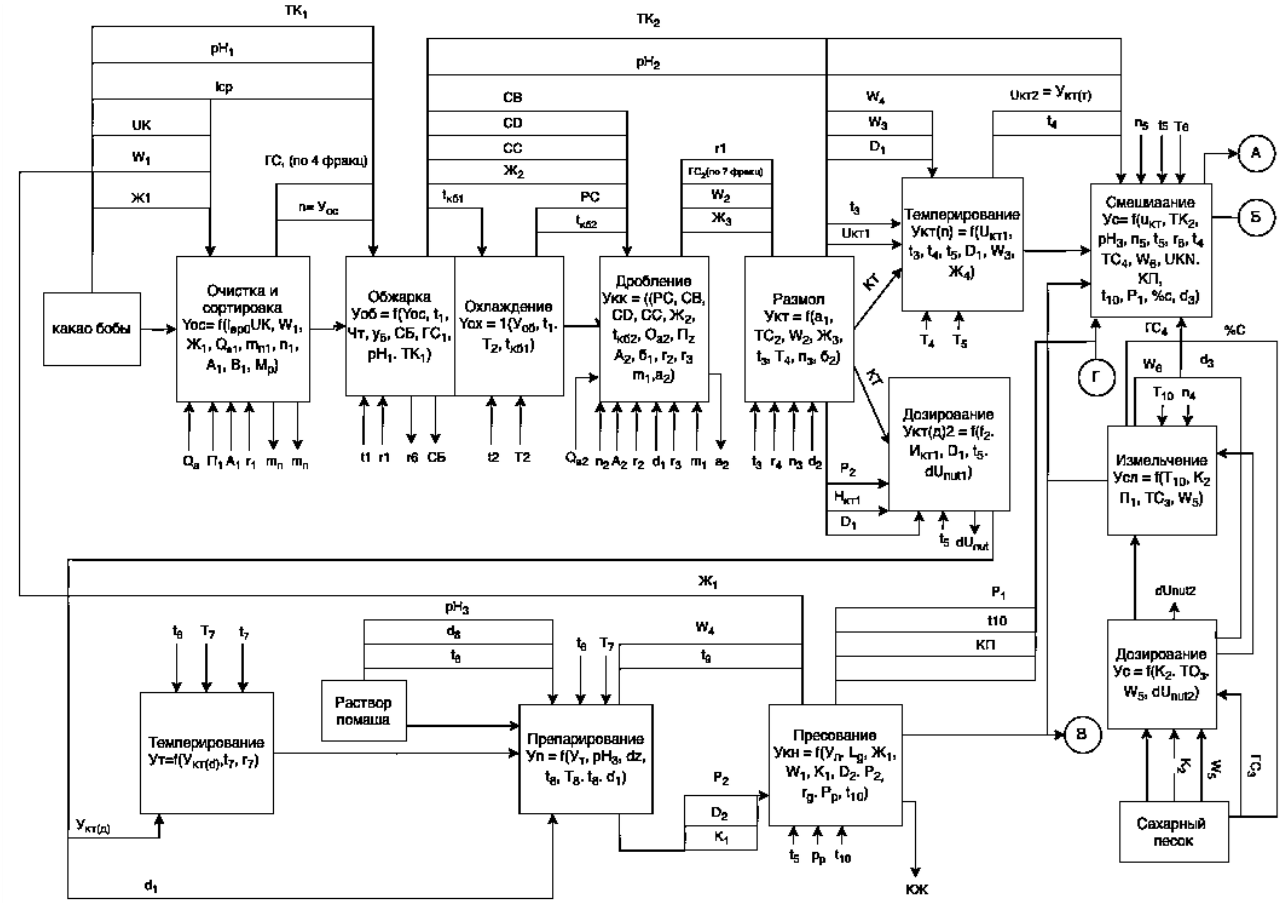


Рисунок 1.3 - ФСС влияния показателей качества сырья и промежуточных операций на качество готового шоколада

Органолептические показатели качества шоколада, контролируемые при его производстве в соответствии с ГОСТом 6534-89 «Шоколад. Общие технические условия», представлены на органолептическом профиле шоколада (профилограмма исследуемых нами образцов шоколада) (рисунок 1.4).

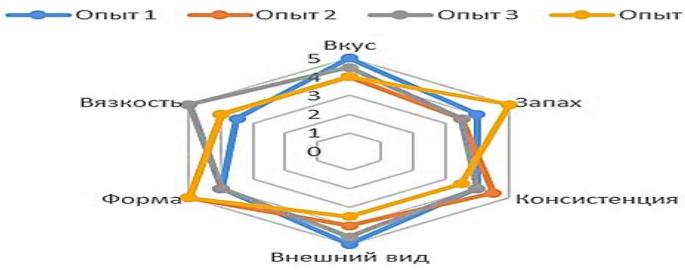


Рисунок 1.4 - Профилограмма органолептической оценки образцов шоколада.

Оценка возможности цифровой трансформации линии производства шоколадных масс

Началу работ по цифровой трансформации производства шоколада должен предшествовать всесторонний анализ процессов производства, позволяющий оценить поточность и прогрессивность существующей схемы ТП, степень подготовленности этого производства к цифровой трансформации.

Обзор и анализ работ, посвященных цифровой трансформации ТП в различных отраслях промышленности и подррбно описанный в наших статьях [26, 28 – 38, 40 -54], показали перспективность цифровой трансформации ТП производства шоколада [35].

В соответствии с полученными результатами исследований и их анализом была разработана ФСС контроля и управления основными технологическими и режимными параметрами процесса производства шоколада (рисунок 1.5).

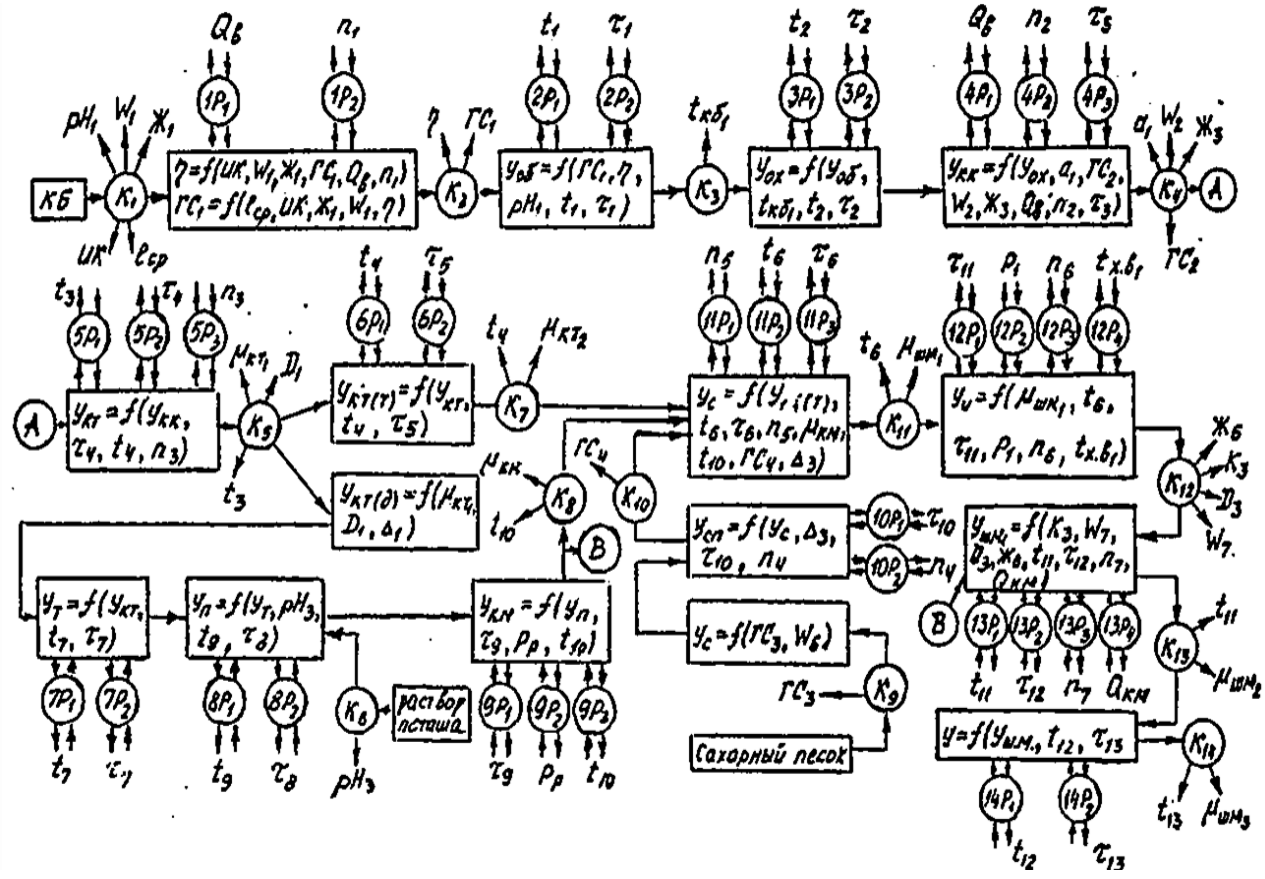


Рисунок 1.5 - Точки контроля и управления основными технологическими и режимными параметрами процесса приготовления шоколада

1.2.2. Процесс приготовления сбивных конфет

В настоящее время в конфетном производстве все более возрастающим спросом пользуются сбивные конфеты, типа суфле, птичьего молока, что объясняется их высоким качеством, превосходным вкусом, относительно невысокой стоимостью, и постоянно обновляемым ассортиментом [138, 196]. Сбивные конфеты имеют мягкую и нежную консистенцию.

Сбивные конфеты имеют структуру пены и студня [121]. В зависимости от технологического процесса различают сбивные массы легкого и тяжелого типов. К массам легкого типа относятся корпуса конфет на основе агара («Суфле», «Птичье молоко» и др.) и на основе желатина. Такие массы обладают нежной кремообразной консистенцией и одновременно имеют пенообразную структуру. К тяжелым сбивным конфетным массам относится «Нуга» [122,138].

В настоящее время для производства сбивных конфет применяют автоматизированные поточные линии. На рисунке 1.6 показана машинно- аппаратурная схема производства сбивных глазированных конфет типа суфле или птичье молоко на Воронежской кондитерской фабрике.

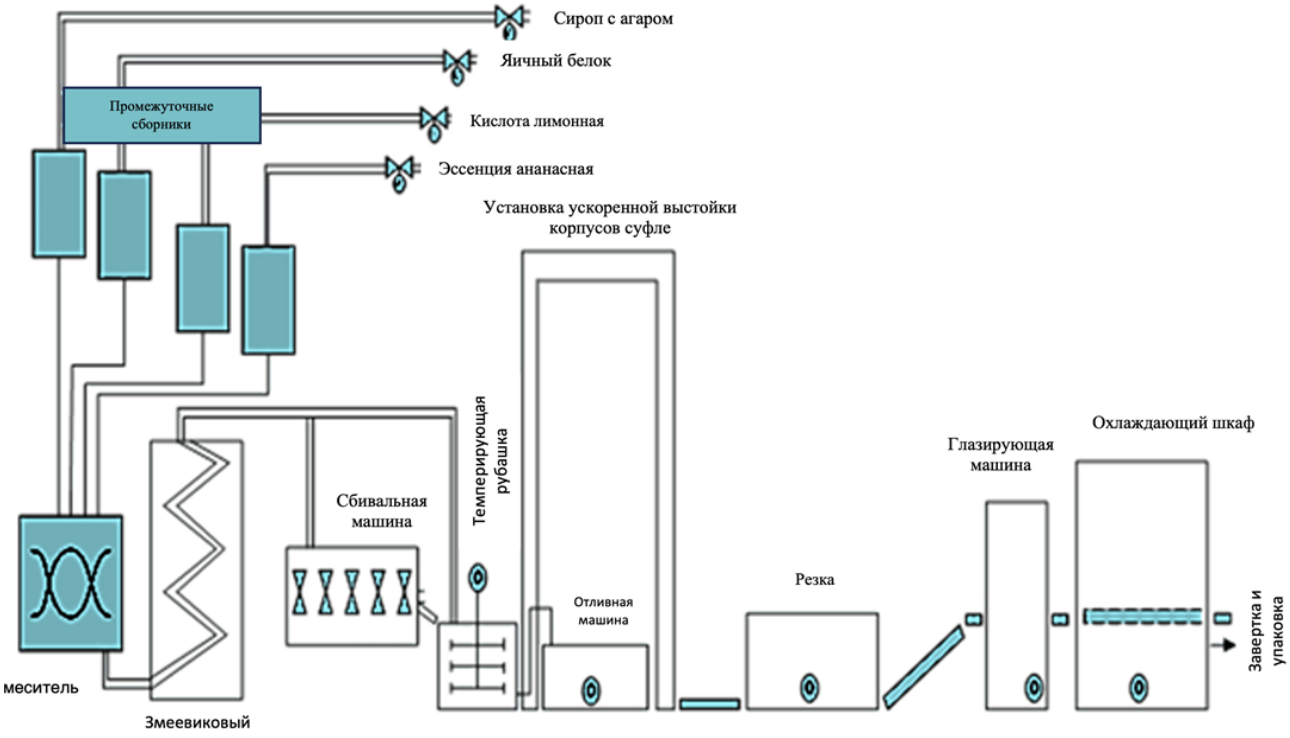


Рисунок 1.6 - Машинно- аппаратурная схема производства сбивных конфет.

Данная поточная линия производства сбивных конфет состоит из: станции отсадки пласта; конвейера разводки линейных пластов с гильотиной; секции охлаждения пласта; поворотного конвейера; глазирования; секции охлаждающего конвейера; раздаточного конвейера (поступление конфет на обёрточные машины); холодильного агрегата; темперирующей ёмкости для глазури; дисковых ножей резки на полосы [136].

Представленная линия по производству сбивных конфет типа суфле или птичьего молока работает следующим образом. Разливочный узел разливает массу на движущейся конвейер, образуя ровный, длинный пласт продукта. Конвейер перемещает массу в холодильный тоннель с двумя уровнями бесконечных лент, для охлаждения её с верхней и нижней плоскости. В тоннеле пласт продукта, охлаждаясь, перемещается по верхнему уровню конвейера, доходит до конца и спадает на нижний уровень, перемещаясь в обратном направлении. Выходя из тоннеля, пласт продукта режется дисковыми ножами на заданную ширину, а гильотинной резкой режется на заданную длину. Нарезанный пласт на конфеты или пластинки суфле транспортируется к следующему этапу - глазирование шоколадом. Далее конфеты переходят на сетчатый конвейер, перемещаясь в глазировочную машину, обливаясь шоколадной глазурью. Затем идет этап охлаждения шоколадного слоя. Облитые шоколадом конфеты, перемещаются в охлаждающий тоннель для заключительного охлаждения. После прохождения тоннеля, конфеты перемещаются на транспортёр, с которого упаковываются операторами в привычную нам коробку птичьего молока или же перемещаются далее в линию индивидуальной поштучной упаковки.

Для изучения технологического процесса производства сбивных масс типа «Суфле» или «Птичье молоко» как объекта автоматизации был проведен анализ основных стадий: приготовления сахарно-паточно-агарового сиропа, сбивания сиропа с яичным белком и получения массы. Каждая из указанных стадий производства сбивных конфет состоит из ряда операций, группы и сорта вырабатываемых конфет [108].

На рисунке 1.7 представлена структурная схема влияния различных параметров хода ТП производства сбивных конфет на показатели качества готовых изделий.

Требования, предъявляемые к качеству сбивных конфет

В настоящее время качество глазированных сбивных конфет определяют в соответствии с ГОСТом 4570-2014 «Конфеты. Общие технические условия». Исследование качества сбивных конфет начинают с органолептической оценки.

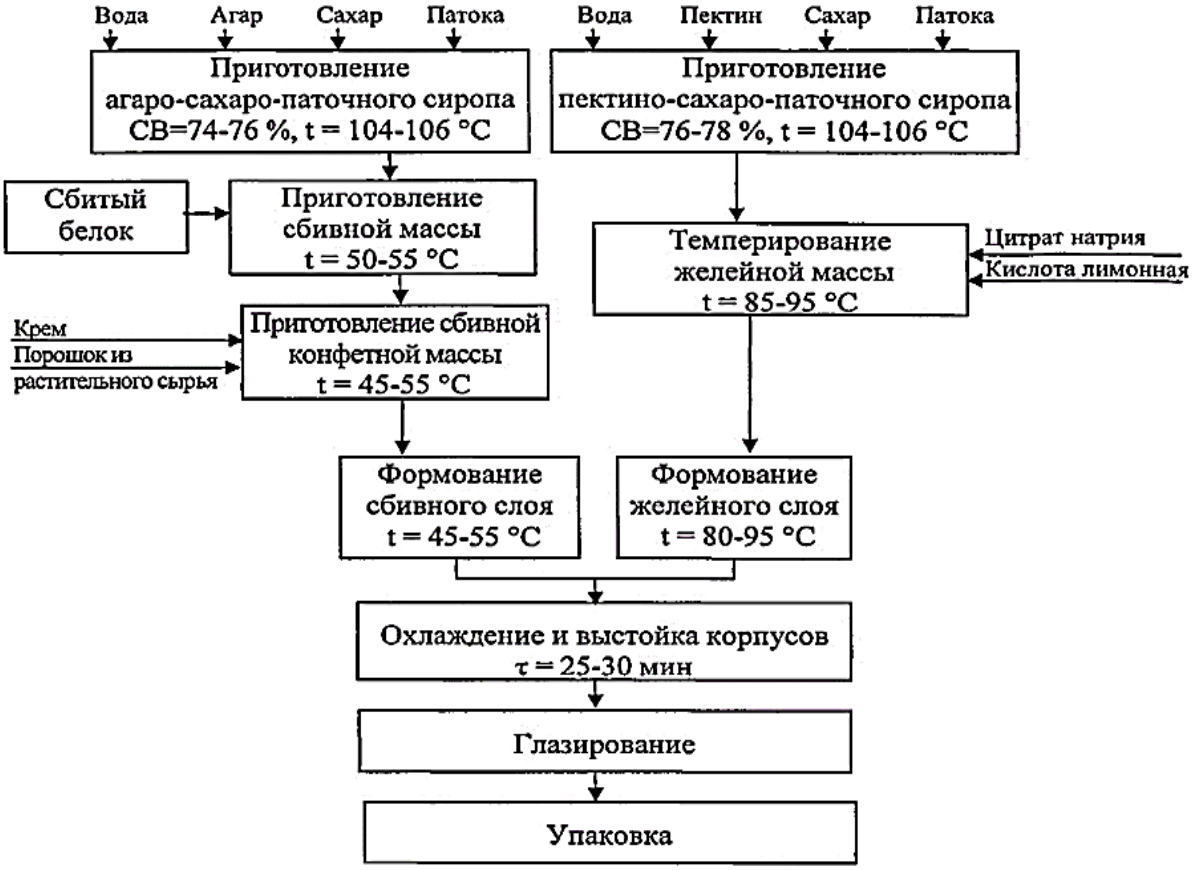


Рисунок 1.7 - Структурная схема влияния различных параметров хода ТП производства сбивных конфет на показатели качества готовых изделий

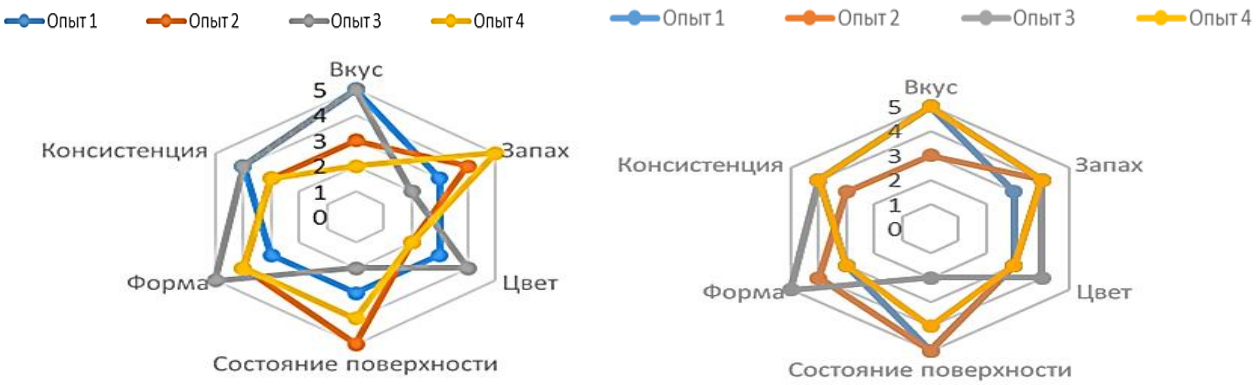
Органолептические показатели этих конфет определяют в соответствии с ГОСТ 5897-90 «Изделия кондитерские. Методы определения органолептических показателей качества, размеров, массы нетто и составных частей». По органолептическим показателям качества сбивные конфеты в соответствии с этим ГОСТом должны соответствовать требованиям, указанным в таблице 1.1.

Органолептические показатели качества сбивных конфет

Таблица 1.1

Наименование показателя	Характеристика и значение показателя
Вкус и запах	Характерные для данного наименования конфет, ясно выраженные. Не допускаются посторонние вкусы и запахи.
Внешний вид, состояние поверхности сбивных конфет, глазированных шоколадной глазурью	Поверхность конфет без отделки должна быть без вздутий, вмятин и трещин. Поверхность глазированных конфет с отделкой - сухая, не липкая, без сколов, вздутий и трещин, глазурь должна покрывать поверхность конфет ровным или волнистым слоем. Поверхность должна быть блестящей с четким рисунком, без следов поседения
Форма изделия	Разнообразная, в соответствии с утвержденными рецептурами, без деформаций.
Цвет	Разнообразный, в соответствии с утвержденными рецептурами
Консистенция	Однородная, без крупинок и комочков. Структура конфет – мелкопористая, пышная.

На рисунке 1.8 представлена профилограмма исследуемых образцов конфет «Суфле» и «Птичье млоко».



а) Суфле б) Птичье молоко

Рисунок 1.8 - Профилограмма органолептической оценки образцов сбивных конфет

К дефектам органолептических показателей суфле, в первую очередь, необходимо отнести дефекты вкуса (посторонний привкус прогорклости, хруст на зубах и др.) и запаха (резкий запах пищевого ароматизатора и др). Дефектами цвета являются: неоднородная окраска, ее грязные тона. Дефектами консистенции могут быть грубые, крупные, малоизмельченные частицы, неоднородность

из-за недостаточного перемешивания. К дефектам формы можно отнести трещины на лицевой стороне, деформацию (помятости, надломы), искривления граней и ребер [132].

Были рассчитаны основные показатели прогрессивности данного производства:

$$К_а = 0{,}1748;\ К_{пот.} = 0{,}8252 \text{ и } К_{ск.} = 0{,}4124\ , \qquad (1.1)$$

расчет которых показал, что данная схема производства имеет следующие коэффициенты поточности и собственных контуров: $К_{пот} > К_{пот.теор.} = 0{,}655$ и $К_{ск} < К_{ск.теор.} = 0{,}500$, что позволяет сделать вывод о перспективности цифровой трансформации ТП производства сбивных глазированных конфет [15, 75,112].

На основании проведенного анализа ТП производства сбивных конфет как объекта автоматизации была разработана функционально - структурная схема (ФСС) ТП производства глазированных сбивных конфет с указанием необходимых точек контроля и регулирования, представленная на рисунке 1.9.

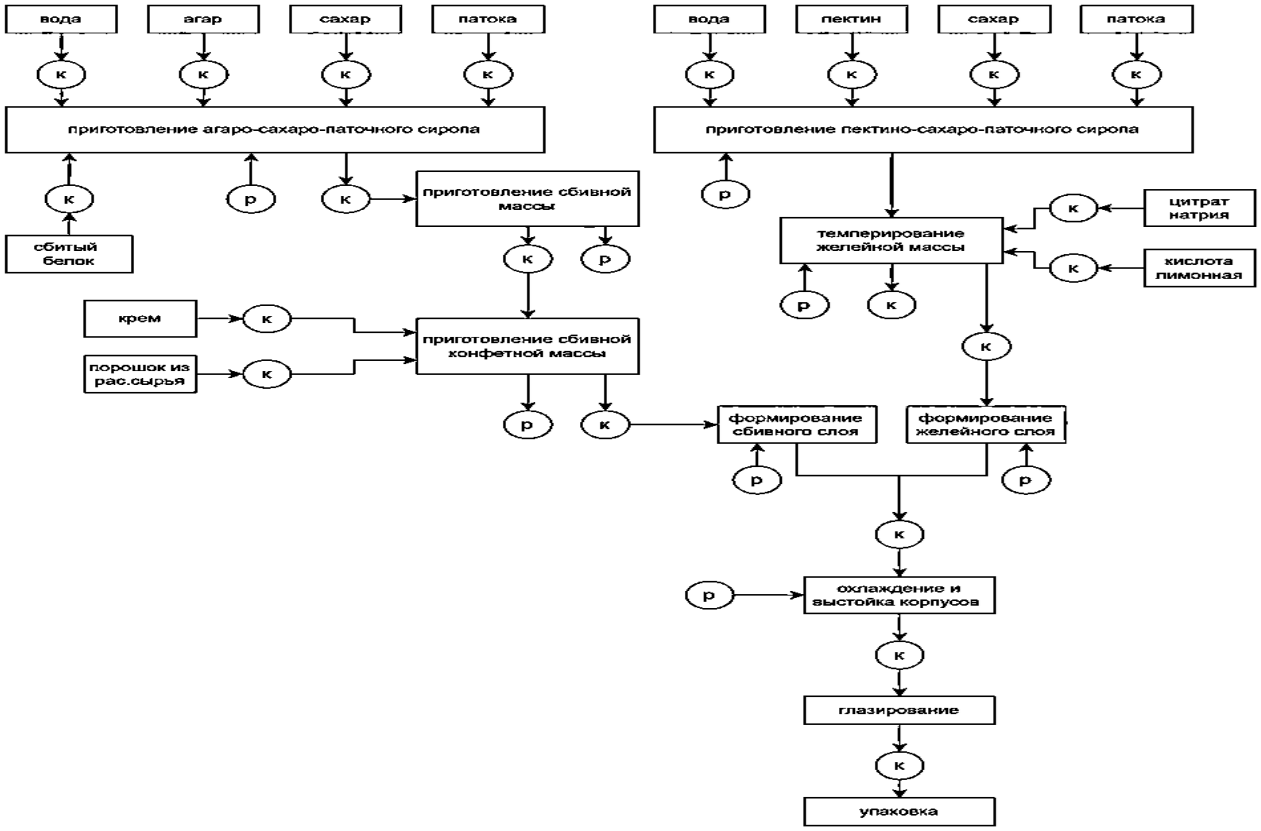


Рисунок 1.9 - ФСС ТП производства глазированных сбивных конфет с указанием необходимых точек контроля и регулирования

Таким образом сделан вывод о том, что дальнейшее развитие кондитерского производства этих видов изделий должно быть направлено, в первую очередь, на разработку и внедрение средств автоматизации контроля в потоке органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции с использованием интеллектуальных технологий.

1.2.3. Процесс приготовления халвы

Халва - это сахаристое кондитерское изделие волокнисто- слоистой структуры, на основе взбитой с пенообразователем карамельной массы и жиросодержащей тертой массой семян подсолнечника, ядер орехов (кунжута, арахиса и др.) с добавлением или без добавления пищевых добавок [25]. Халва является весьма востребованным в линейке кондитерских изделий продуктом, благодаря её вкусовым и питательным свойствам [34]. Поскольку в производстве халвы группа изделий с использованием семян подсолнечника и орехов имеет наибольшее распространение, нами для автоматизации управления качеством производства халвы, в качестве объекта автоматизации, была выбрана именно линия по производству подсолнечной халвы.

На рисунке 1.10 представлена распространенная на кондитерских предприятиях машинно-аппаратурная схема линии производства подсолнечной халвы.

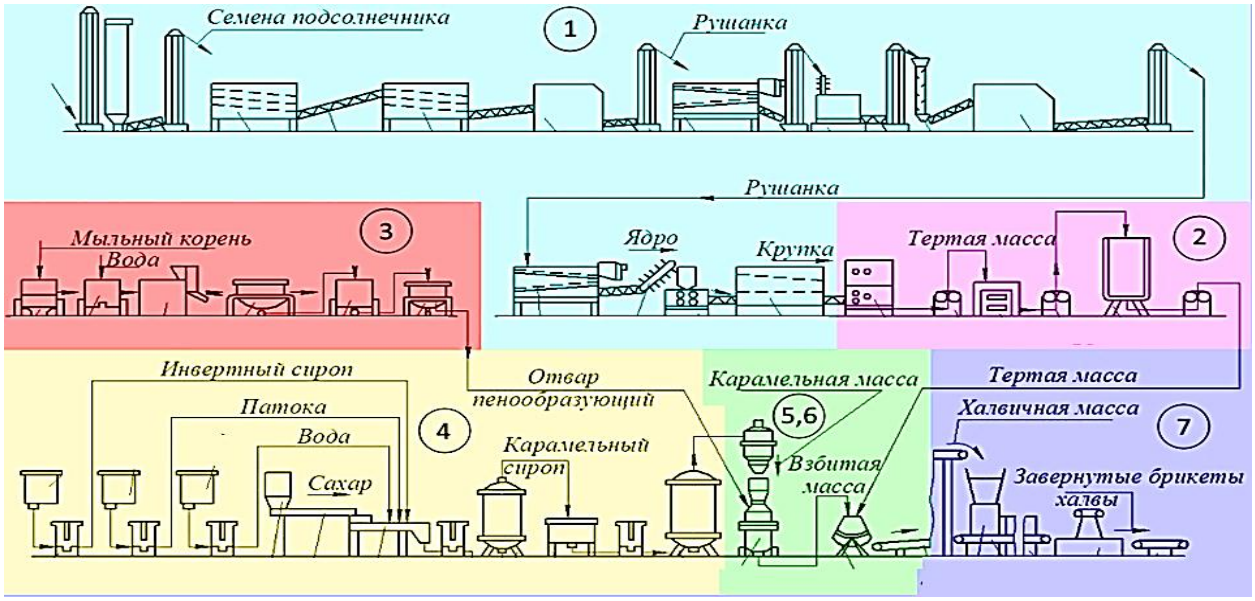


Рисунок 1.10 - Машино – аппаратурная схема линии производства халвы

Процесс производства халвы начинается с подачи сырья из нории и бункера в воздушно-ситовый сепаратор. В нем происходит очистка от примесей. Затем сырье поступает на калибрование по размерам в сепаратор с помощью ленточного конвейера. Откалиброванное сырье поступает в обрушитель. Затем обрушенное сырье поступает в семеновеечную машину для отделения лузги от ядра. Далее полученные ядра обжаривают в жаровнях с паровым обогревом, при непрерывном перемешивании. Этот процесс длится 30-40 минут. На выходе температура ядер 110-120 °С, влажность обжаренных ядер 1,0-1,2 %. После этого происходит дозирование полученной массы на вальцовый станок. Всю лишнюю лузгу, прилипшую к ядрам, просеивают на вибрационном станке. С помощью пятивалкового станка, полученная крупка размалывается в протирочной машине. Полученную тертую массу дозируют насосом в бункер, где она хранится при температуре 40-45°С при постоянном перемешивании для исключения ее расслоения.

Для приготовления карамельного сиропа проводят четкое дозирование основных компонентов в смеситель, в котором рецептурная смесь нагревается до температуры 65-70 °С и непрерывно перемешивается. После смесителя полученная смесь поступает в варочный аппарат для уваривания сиропа до влажности 14-16 %. Далее карамельную массу и отвар пенообразователя дозируют и полученную смесь взбивают 15-20 минут при температуре 105-115 °С. Затем идет процесс вымешивания халвы. Во время работы месильной машины, ее лопасти вращаются непрерывно до равномерного вытягивания карамельных нитей. Далее полученную массу выгружают на охладительную машину, формуют и затем готовую халву пускают на упаковку [25].

Основные стадии технологического процесса производства подсолнечной халвы представлены на рисунке 1.11. Это: сепарирование семян подсолнечника и подготовка сырья к производству; приготовление сахарного сиропа; приготовление карамельного сиропа; взбивание карамельной массы; вымешивание халвы; формование, фасовка и упаковка.



Рисунок 1.11 - Основные стадии процесса производства халвы

В формировании показателей качества готовой халвы, кроме свойств используемого сырья, большое значение имеют также и такие материальные потоки, пар, сжатый воздух, техническая вода, хладагент, электроэнергия, режимы работы используемого оборудования и др. Для решения задач автоматизации управления качеством производства халвы, была разработана ФСС влияния исходного сырья и промежуточных операций на качество готовой изделий, подробно изложенная в наших статьях [25, 28, 29, 31, 34] (рисунок 1.12).

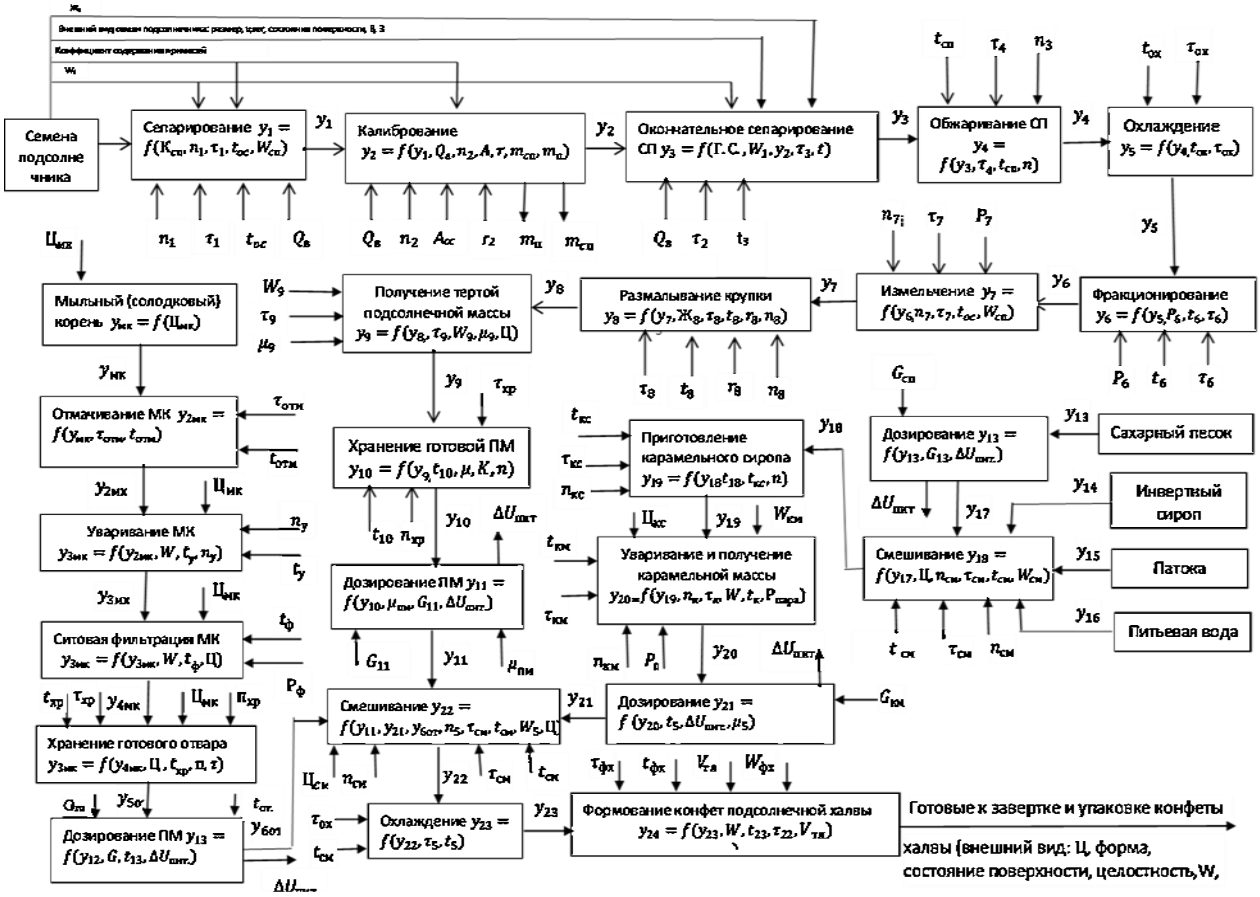


Рисунок 1.12 - ФСС влияния показателей качества исходного сырья и промежуточных операций на качество халвы на всех этапах производства

Исходным сырьем для получения подсолнечной халвы являются семена подсолнечника. Основные органолептические показатели качества семян подсолнечника: коэффициент содержания примесей $q_{сп}$; вкус ($В_{сп}$); запах ($З_{сп}$); влажность, $W_{сп}$; содержание жира, $Ж_{сп}$ и внешний вид ($Вн.в_{сп}$), включающий: размер ($L_{сп}$), цвет ($Ц_{сп}$), состояние поверхности ($СП_{сп}$), целостность ($Цел._{сп}$) [54]. При хранении на качество семян подсолнечника влияют такие режимные параметры, как продолжительность хранения ($\tau_{хсп}$), температура хранения ($t_{хсп}$) и относительная влажность воздуха ($\varphi_{в}$). Анализ производства подсолнечной халвы показал влияние на качество готовой продукции следующих операций:

- *сепарирование* семян подсолнечника в воздушно-ситовом сепараторе. Эффективность данного процесса Y_1 определяется качеством поступающих семян подсолнечника ($К_{сп}$) (основные показатели качества семян подсолнечника были перечислены выше) и зависит от влажности семян ($W_{сп}$), времени проведения операции (τ_c), температуры (t_c), а также от режимных и конструктивных параметров технологического оборудования для проведения данной операции;

- *калибрование*. Эффективность данного процесса и получение полуфабриката с оптимальными показателями качества Y_2 зависит от эффективности проведения предыдущей операции и качества поступающего сырья Y_1, а также от режимных параметров сортировочного процесса (расход воздуха $Q_{в}$, амплитуды А, радиуса колебаний r сит и др.);

- *окончательное сепарирование*. Эффективность данного процесса и получение полуфабриката с оптимальными показателями качества Y_3 зависит от эффективности проведения предыдущей операции и качества Y_2 поступающего на данный процесс семян подсолнечника, времени выполнения операции ($\tau_{ос}$), температуры ($t_{ос}$), а также от режимных параметров ситовеечного процесса ($Q_{в}$), ($А_{ос}$), ($п_{ос}$), ($r_{ос}$) и оценивается по качеству разделения семян подсолнечника на фракции, а также отделения ядра от недоруша, целяка, сечки, мучки, лузги;

- *обжаривание.* На качество процесса обжаривания семян подсолнечника оказывают влияние такие режимные параметры, как продолжительность обжаривания ($\tau_{об}$), температура обжаривания ($t_{об}$) и число оборотов непрерывного перемешивания ($п_{об}$). Качество семян подсолнечника после процесса обжаривания Y_4 оценивается по температуре ($t_{сп}$), цвету ($Ц_{сп}$) и влажности ($W_{сп}$) семян подсолнечника на выходе;

- *охлаждение.* На качество получаемых семян подсолнечника Y_5 после процесса охлаждения влияет начальная температура семян подсолнечника ($t_{сп}$), режимные параметры процесса: температура в охлаждающей камере (t_5) и время охлаждения ($\tau_{ох}$);

- *фракционирование*. Эффективность данного процесса и получение семян подсолнечника с оптимальными показателями качества Y_6 зависит от эффективности предыдущей операции охлаждения, качества поступающей на данный процесс массы семян подсолнечника, а также от режимных параметров ситовеечной машины для фракционирования (P_6, t_6 и τ_6);

- *измельчение*. Эффективность проведения данного процесса и получение крупки семян подсолнечника с оптимальными показателями качества Y_7 зависят от эффективности проведения предыдущей операции, качества поступающего на данный процесс полуфабриката Y_6, а также от времени проведения операции (τ_7) и режимных параметров оборудования процесса измельчения;

- *размалывание крупки*. Эффективность данного процесса и получение полуфабриката с оптимальными показателями качества Y_8 зависит от эффективности проведения предыдущей операции; качества, поступающего на данный процесс крупки семян подсолнечника Y_7, а также от времени размалывания (τ_8), температуры (t_8) и режимных параметров пятивалкового станка;

- *получение тертой подсолнечной массы*. Эффективность данного процесса и получение полуфабриката с оптимальными показателями качества Y_9 зависит от эффективности проведения предыдущей операции, качества поступающего на данный процесс крупки семян подсолнечника после размалывания Y_8, а

также от времени проведения данной операции (τ_9), температуры (t_9) и режимных параметров протирочной машины;

- *хранение готовой тертой подсолнечной массы*. Эффективность данного процесса и получение полуфабриката с оптимальными показателями качества Y_{10} зависит от эффективности проведения предыдущей операции, качества поступающего на данный процесс тертой подсолнечной массы Y_9, а также от температуры хранения (t_{10}), времени хранения (τ_{10}) и числа оборотов мешалки ($n_{хр}$);

- *дозирование подсолнечной массы*. Эффективность процесса и качество дозирования Y_{11} зависят от количества поступающей тертой подсолнечной массы G_{11} и точности ее дозирования $\Delta U_{пит.}$, а также от их показателей качества Y_9, которые были перечислены выше;

- *дозирование* сахарного песка, являющегося важным сырьем производства подсолнечной халвы. Эффективность процесса дозирования Y_{17} зависит от таких показателей качества сахарного песка Y_{13}, как влажность ($W_{сп}$), гранулометрический состав ($ГС_{сп}$), а также от количества поступающей массы ($G_{сп}$) и точности ее дозирования ($\Delta U_{пит.}$);

- *смешивание*. Кроме сахарного песка важными компонентами при производстве подсолнечной халвы являются: инвертный сироп, основными показателями качества которого Y_{14} является вязкость ($\mu_{ис}$) и цвет ($Ц_{ис}$); а также патока, основными показателями качества которой Y_{15} является вязкость ($\mu_{п}$) и цвет ($Ц_{п}$). Вода, поступающая на приготовление сахарного сиропа, характеризуется расходом ($Q_{в}$) и заданной температурой ($t_{в}$). В процессе смешивания сахарного песка, патоки, инвертного сиропа и воды на показатели качества получаемого на выходе сахарного сиропа Y_{18} оказывают влияние: качество используемого сырья (Y_{14}, Y_{15}, Y_{16}, Y_{17}), температура ($t_{см}$), продолжительность смешивания ($\tau_{см}$), а также число оборотов мешалки ($п_{см}$), находящейся внутри емкости для смешивания. Качество полученного сахарного сиропа (Y_{18}) оценивается по следующим показателям: цвет ($Ц_{сс}$), вкус ($В_{сс}$), вязкость ($\mu_{сс}$) и влажность ($W_{сс}$);

- *приготовление карамельного сиропа*. После смешивания полученный сахарный сироп поступает в сироповарочный агрегат, на выходе которого получаем уваренный карамельный сироп. На показатели качества полученного карамельного сиропа Y_{19} оказывают влияние следующие параметры: температура уваривания ($t_{кс.}$), время уваривания ($\tau_{кс}$) и число оборотов мешалки внутри агрегата ($n_{кс}$);

- *уваривание и получение карамельной массы*. Полученная смесь карамельного сиропа с влажностью 17…20 % проходит в змеевиковый варочный аппарат, где происходит уваривание этого карамельного сиропа до влажности 14…16 % при давлении пара 0,5…0,6 МПа. Эффективность процесса Y_{20} зависит от показателей качества готового карамельного сиропа Y_{19} (цвет $Ц_{кс}$, вязкость $\mu_{кс}$ и влажность $W_{кс}$), а также от режимных параметров процесса уваривания (время уваривания $\tau_у$, температура уваривания $t_у$ и давления греющего пара внутри змеевика варочного аппарата $P_у$). Качество полученной карамельной массы Y_{20} оценивается по следующим показателям: цвет ($Ц_{км}$), вкус (В), вязкость ($\mu_{км}$) и влажность ($W_{км}$);

- *дозирование* карамельной массы. Эффективность процесса дозирования карамельной массы Y_{21} зависит от влажности ($W_{км}$), температуры ($t_{км}$), а также от количества поступающей массы ($G_{км}$) и точности дозирования ($\Delta U_{пит.}$).

- *охлаждение массы халвы*. Эффективность процесса зависит от начальной температуры поступающей на охлаждение массы халвы ($t_{мх}$), а также от режимных параметров процесса: температуры в охлаждающей камере ($t_к$) и времени охлаждения ($\tau_{охл}$);

- *формование* массы халвы для получения конфет. Показатель качества проведения этого процесса Y_{24} характеризуется влажностью (W_x) и внешним видом готовой конфетной массы (Вн.в) (включающим: цвет, форму, состояние поверхности халвы и целостность). Проведение формования зависит от режим-

ных параметров этого процесса: скорости выхода массы из матричного отверстия ($V_{мх}$), температуры массы халвы, поступающей на формование ($t_{мх}$) и скорости транспортерной ленты ($V_{тл}$).

Главными способами улучшения качества продукции является непрерывный контроль качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции [25]. Наиболее сложными для автоматизации контроля и управления являются органолептические показатели качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции. Поэтому были проанализированы контролируемые в настоящее время на каждой стадии производства халвы органолептические показатели.

Обзор и анализ работ в области кондитерского производства [108, 121, 122, 136, 138, 146, 227], а также существующие ГОСТы [95 - 102] показал, что широко используемые в производстве халвы семена подсолнечника характеризуется следующими органолептическими показателями качества: внешний вид: размер, цвет, состояние поверхности, целостность; коэффициент извлечения примеси; угол естественного откоса; вкус и запах. По органолептическим показателям кондитерские изделия халвы должны соответствовать ГОСТу 6502-2014 «Халва. Общие технические условия» и требованиям, представленным в таблице 1.2.

Требования к показателям качества халвы

Таблица 1.2.

Наименование показателя	Характеристика
Вкус и запах	Свойственные данному наименованию халвы
Цвет	Для арахисовой и кунжутной халвы - от кремового до желтовато-сероватого, для ореховой - светло-желтый, для подсолнечной - серый, для комбинированной халвы - в зависимости от применяемых масличных семян или орехов, для халвы всех видов с введением какао-продуктов - однотонный, от светло-коричневого до коричневого
Консистенция, структура	Легко режущаяся, слегка крошащаяся Волокнисто-слоистая или тонковолокнистая. Для арахисовой и ореховой халвы неярко выраженная волокнисто-слоистая структура. Для халвы, обработанной в вакууме, пористая
Внешний вид поверхности	Не липкая. Для глазированной халвы ровная или волнистая, без поседения и повреждений

На рисунке 1.13 представлена профилограмма исследуемых образцов халвы.



Рисунок 1.13 - Профилограмма исследуемых образцов халвы

Были рассчитаны показатели:

$$К_а = 0,2183;\ К_{пот.} = 0,7817 \text{ и } К_{ск.} = 0,3657 \qquad (1.2)$$

Полученные результаты расчетов показали, что исследуемая схема производства имеет коэффициенты поточности и собственных контуров $К_{пот} > К_{пот.теор.} = 0,655$ и $К_{ск} < К_{ск.теор.} = 0,500$, что позволяет сделать вывод о перспективности цифровой трансформации ТП производства халвы [195].

Для автоматизации управления качеством производства подсолнечной халвы, оптимизации режимов работы технологического оборудования этой линии и цифровой трансформации данных процессов были выявлены наиболее информативные характеристики ТП производства халвы. На рисунке 1.14 представлена полученная ФСС процесса производства халвы с указанием необходимых точек контроля и регулирования. Параметры $\overline{X}_{lm}$ характеризуют исходные органолептические показатели качества сырья, а также технологические и режимные параметры (t, h, G и др.).

1.2.4. Процесс приготовления мармелада

К достаточно популярным кондитерским изделием можно отнести мармелад, приготовленный из фруктовых, ягодных пюре или соков, варёных с сахаром с содержанием влаги по массе не более 22% - 33% [121].

В Федеральном законе N 469750-4 "О техническом регламенте на кондитерскую продукцию", а также в ГОСТе 6442-89 «Мармелад. Технические усло-

вия» дается определение понятия «мармелад»: «Мармелад представляет собой сахаристое кондитерское изделие студнеобразной консистенции ….».

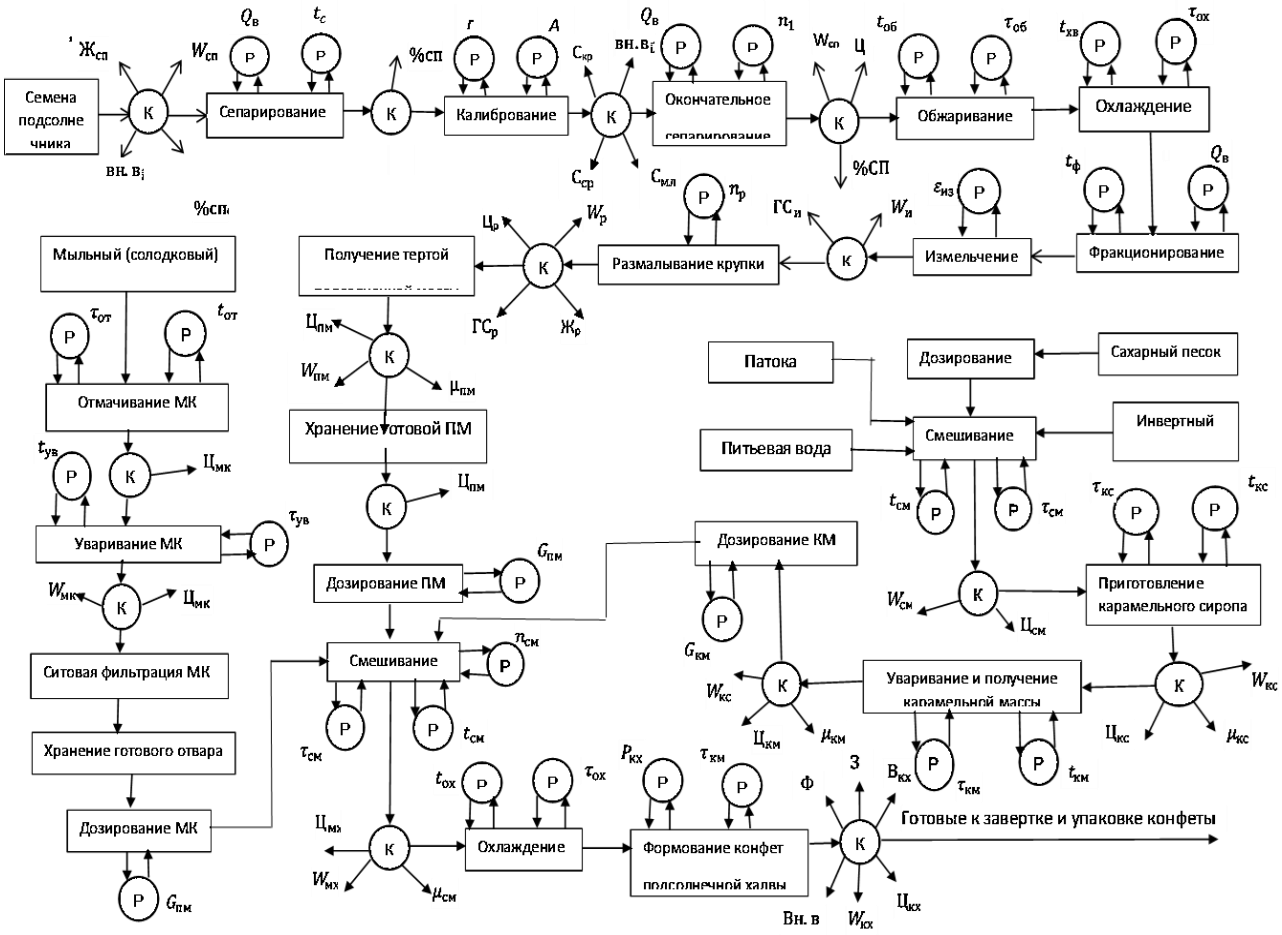


Рисунок 1.14 - ФСС формирования качества подсолнечной халвы с указанием информативных параметров контроля и регулирования

В отличие от многих сладостей мармелад является натуральным и очень полезным пищевым продуктом. Мармеладные изделия относят к лечебно-профилактическим продуктам питания, выделяются высокой усвояемостью, ценными вкусовыми и диетическими свойствами. На рисунке 1.15 представлена производственная линия приготовления различных сортов мармелада в 3D виде.



Рисунок 1.15 - Производственная линия приготовления мармелада в 3D виде

На рисунке 1.16 показана машинно-аппаратурная схема приготовления мармелада [174].

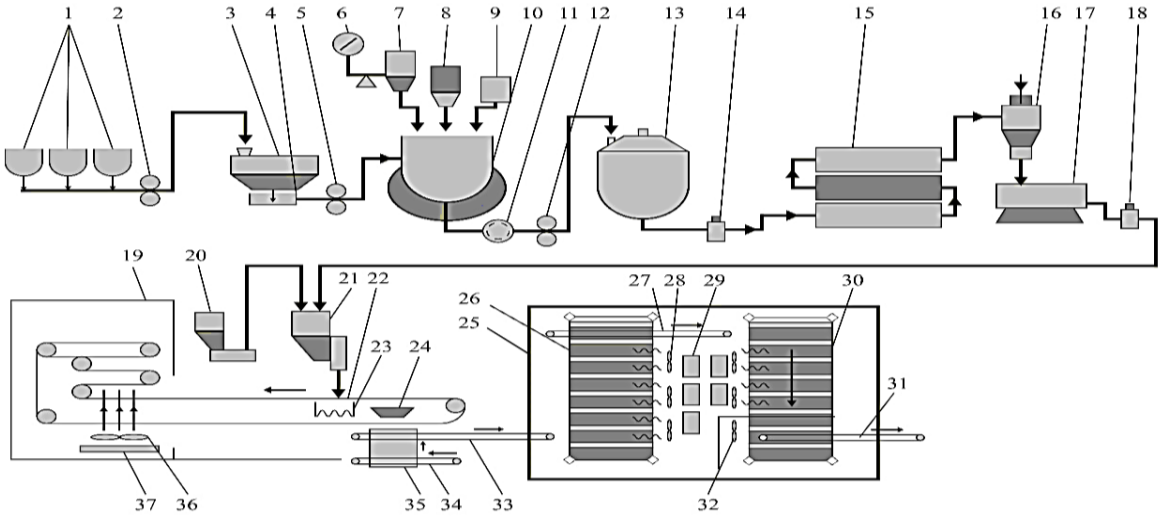


Рисунок 1.16 - Машинно-аппаратурная схема приготовления мармелада

На рисунке 1.17 представлена схема основных стадий ТП производства мармелада. По органолептическим показателям мармелад должен соответствовать требованиям ГОСТ 6442-89 «Мармелад. Технические условия».

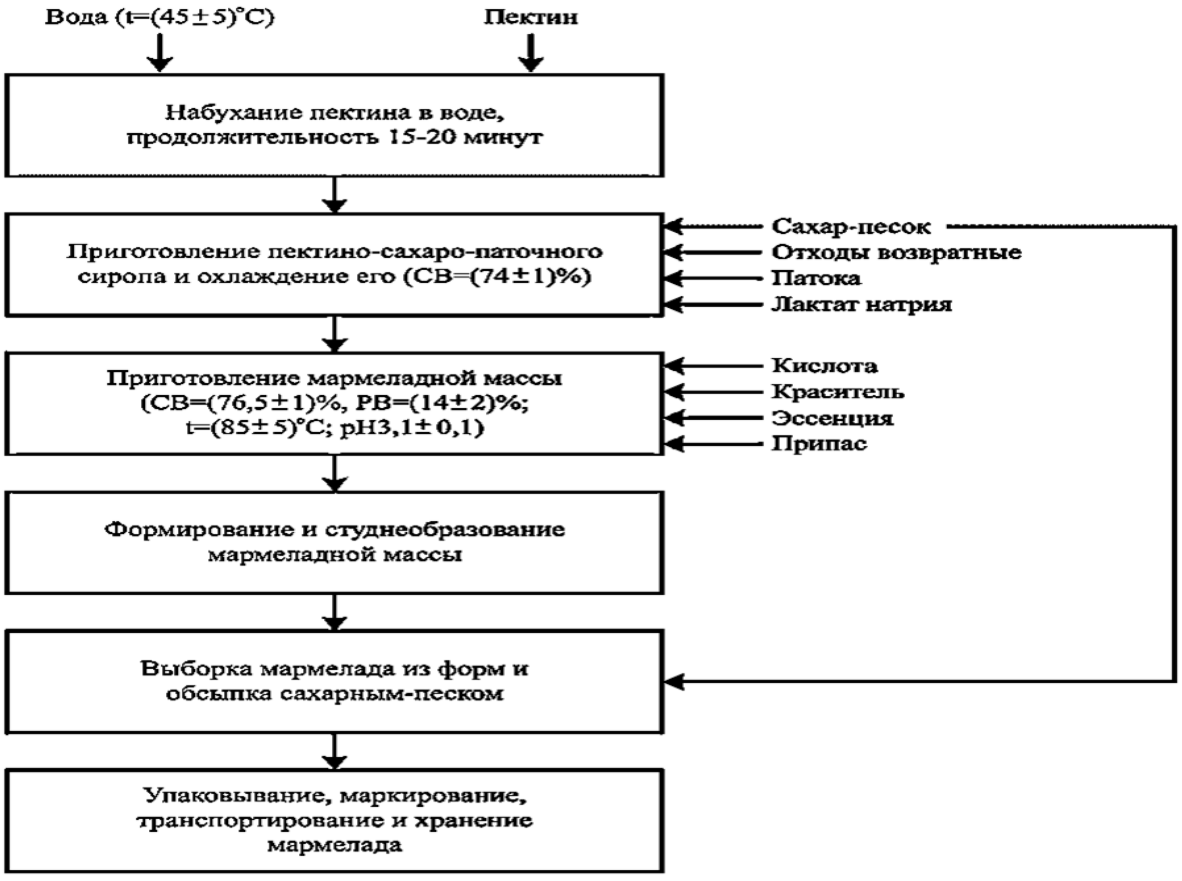
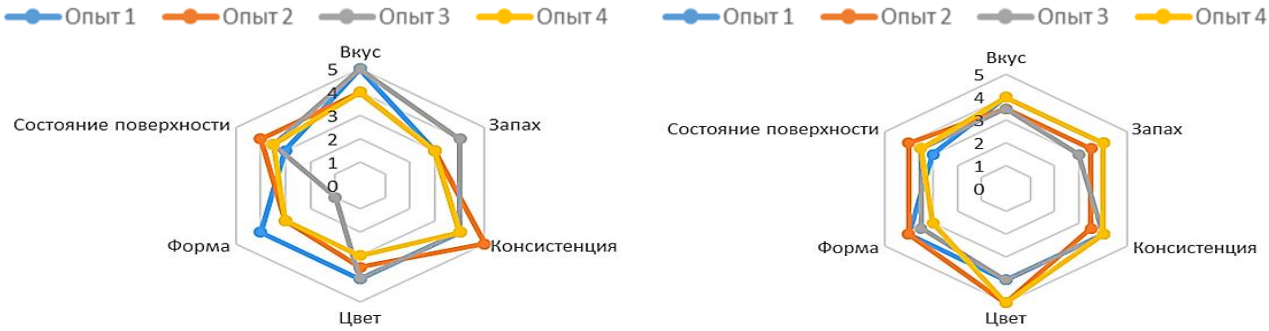


Рисунок 1.17 - Основные стадии процесса производства мармелада

При определении органолептической оценки качества мармелада эксперты-дегустаторы в лабораториях кондитерских предприятий в баллах оценивают показатели качества мармелада, представленные на профилограммах исследуемых образцов мармелада фруктово- ягодного и желейного (рисунок 1.18).



а) фруктово ягодный б) желейный

Рисунок 1.18 - Профилограмма органолептической оценки образцов мармелада

Были рассчитаны показатели эффективности линии производства мармелада:

$$К_а = 0{,}2044;\ К_{пот.} = 0{,}7956 \text{ и } К_{ск.} = 0{,}2976 \quad , \quad (1.3)$$

Полученные результаты расчетов показали, что данная схема имеет коэффициенты поточности и собственных контуров $К_{пот} > К_{пот.теор.} = 0{,}655$ и $К_{ск} < К_{ск.теор.} = 0{,}500$, что позволяет сделать вывод о перспективности цифровой трансформации ТП производства мармелада [39].

Для автоматизации управления качеством производства этих конфет разработана ФСС производства мармелада с указанием необходимых точек контроля и регулирования, представленная на рисунке 1.19.

1.2.5. Процесс приготовления карамели

Карамель - кондитерский продукт, получаемый путем нагревания сахара или варки сахарного сиропа с крахмальной патокой или инвертным сахаром [108, 132]. В соответствии с ГОСТ 6477-2019 «Карамель. Общие технические условия», карамель представляет собой сладкий продукт, который может иметь различные формы и размеры, включая твердые конфеты, мягкие жевательные конфеты, карамельные батончики и другие варианты.

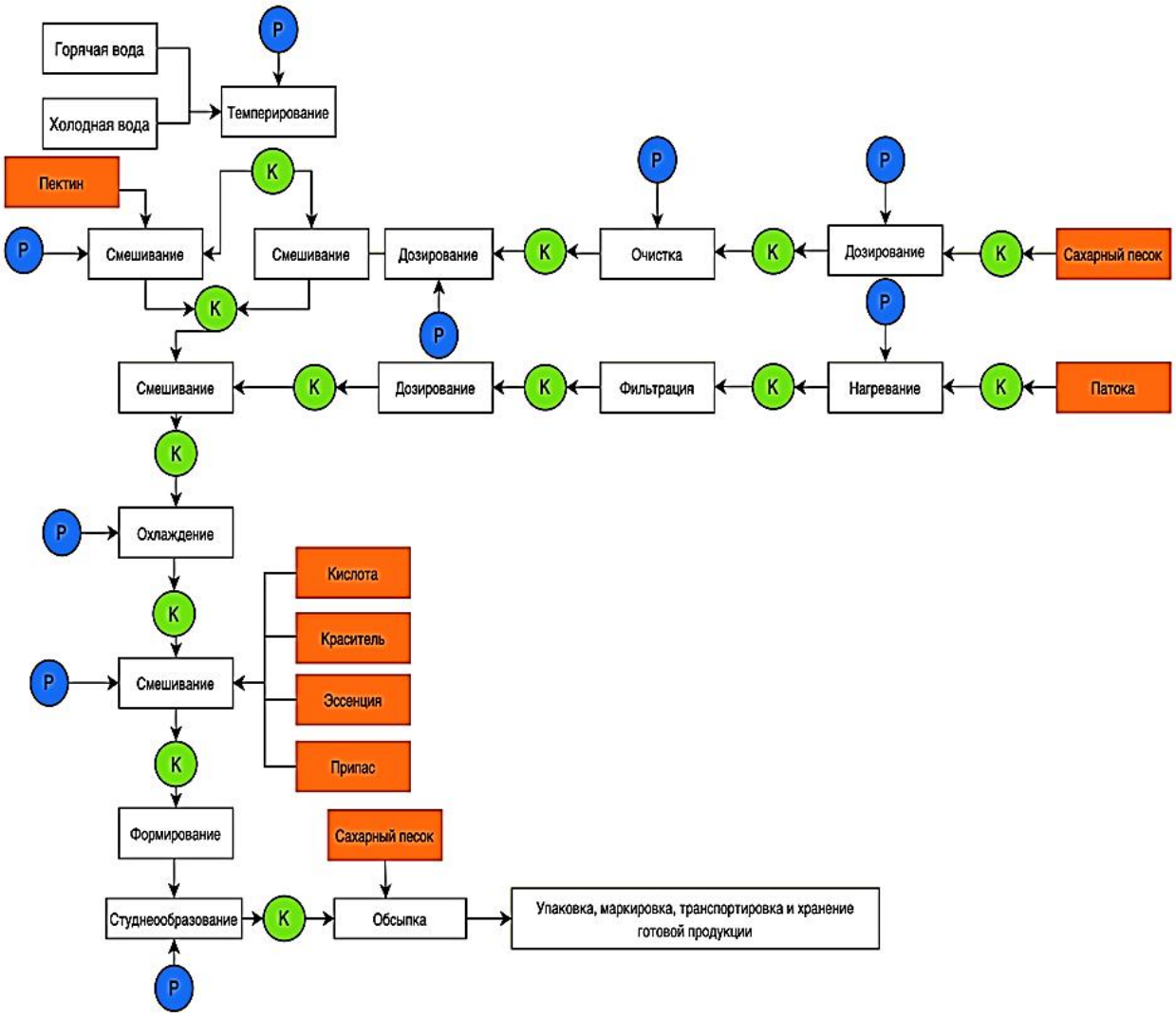


Рисунок 1.19 - ФСС процессов производства мармелада с указанием необходимых точек контроля и регулирования

Карамель, как десертное лакомство, обладает разнообразными вкусовыми и текстурными характеристиками, которые зависят от процесса приготовления и добавленных ингредиентов [227]. Процесс производства карамели включает в себя нагревание сахара в специальных карамельных котлах, после чего масса обрабатывается и формируется в желаемую конфигурацию. Для придания определенной текстуры и жевательности карамели могут добавляться жиры и жидкости, такие как сливки или масло [196]. На рынке представлены разнообразные виды карамели с разным составом и пищевой ценностью. Существуют карамельные изделия с низким содержанием жира и калорий, а также с различными добавками (орехи, изюм, шоколадные начинки), чтобы удовлетворить вкусовые

предпочтения потребителей. Некоторые производители также обогащают карамель витаминами, повышая его привлекательность для потребителей [132].

Машинно –аппаратурная схема линии производства леденцовой карамели представлена на рисунке 1.20.

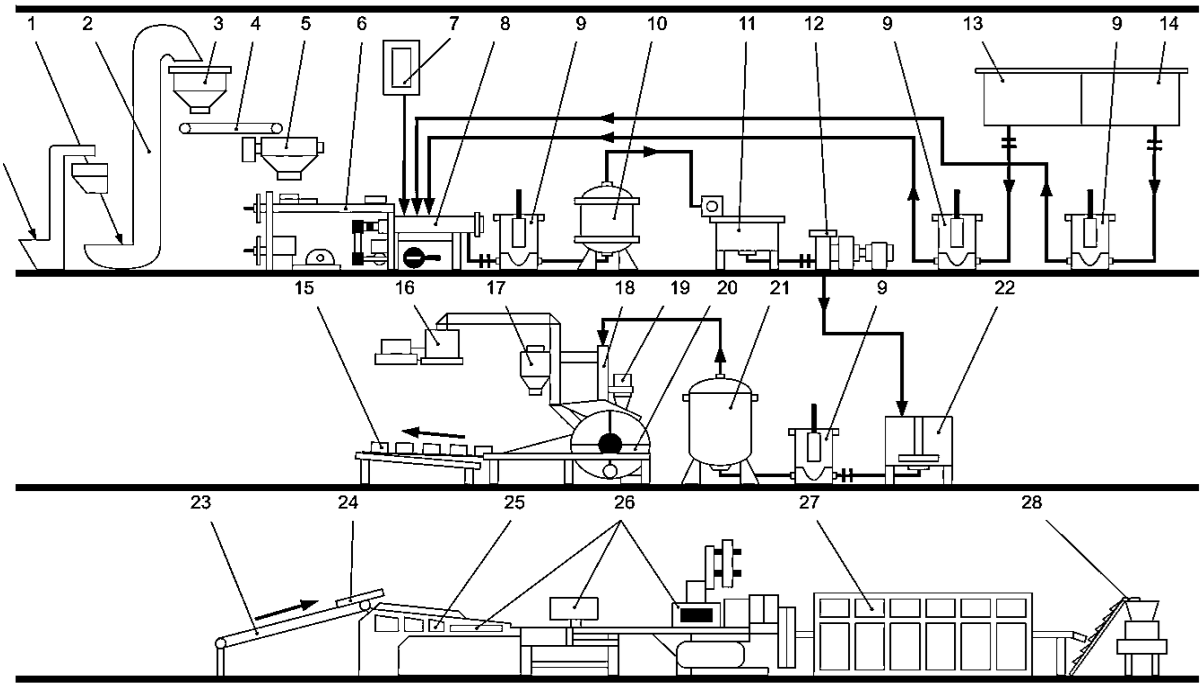


Рисунок 1.20 - Машинно –аппаратурная схема линии производства карамели

Сахар подается в просеватель 1, очищается от посторонних примесей и норией 2 направляется в бункер-накопитель 3. Из бункера ленточным конвейером 4 сахар передается в промежуточный бункер 5, из которого шнеком 6 дозируется в смеситель 8 непрерывного действия. Одновременно в смеситель подаются насосами 9 патока и инвертный сироп из сборников 13 и 14. Полученный сахаропаточный раствор насосом-дозатором 9 отправляется в варочную колонку 10, в которой уваривается и через фильтр попадает в сборник 11. Насосом 12 сироп перекачивают в сборник 22. Далее карамельную массу уваривают в аппарате 21, из которого масса подается в охлаждающую машину 20. Сверху карамельная масса обдувается воздухом, подаваемым от компрессора 16. В нижней части карамельная масса завертывается в многослойный жгут и передается на промінальный транспортер 15. Далее распределительным конвейером 23, с помощью заслонок 24 карамельная масса передается в обкаточные машины 25 формующе-

заверточного агрегата. На рисунке 1.21 представлен алгоритм управления процессом производством карамели.

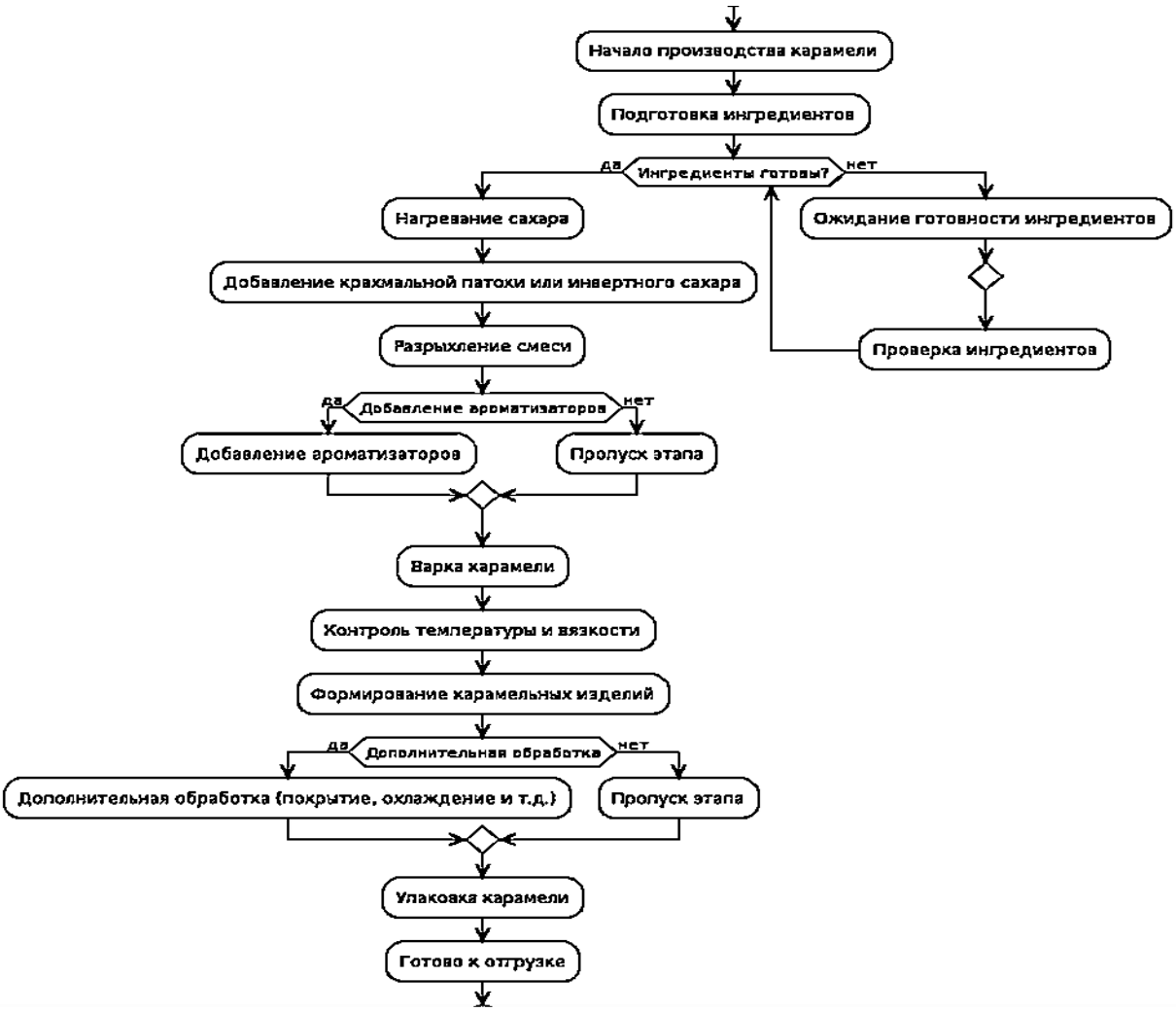


Рисунок 1.21 - Алгоритм управления процессом производством карамели.

В соответствии с рисунком 1.21 производство карамели можно разделить на следующие основные этапы: 1 – подготовка ингредиентов, 2 – смешивание ингредиентов, 3 – нагревание и карамелизация, 4 – формирование изделий, 5 - охлаждение и застывание, 6 - упаковка, 7 - контроль качества, 8 - отгрузка и распределение.

В процессе производства карамели важное значение имеет систематический контроль ее качества, которое в настоящее определяют в соответствии с ГОСТ 6477-88 «Карамель. Общие технические условия». Органолептическая оценка сырья играет ключевую роль, позволяя определить качество и пригод-

ность сахара для последующей обработки. В настоящее время органолептические показатели качества сырья и готовой карамели определяются экспертами-дегустаторами в лабораториях кондитерских фабрик сенсорными методами [227]. Недопустимыми дефектами карамели являются [140]: наличие посторонних привкусов и запахов, пятен на поверхности (неоднородная окраска), трещин, открытых швов, липкая поверхность, деформация, наличие сероватого налета (поседения) конфеты, глазированной шоколадом.

На рисунке 1.22 представлена профилограмма органолептической оценки исследуемых образцов леденцовой карамели.

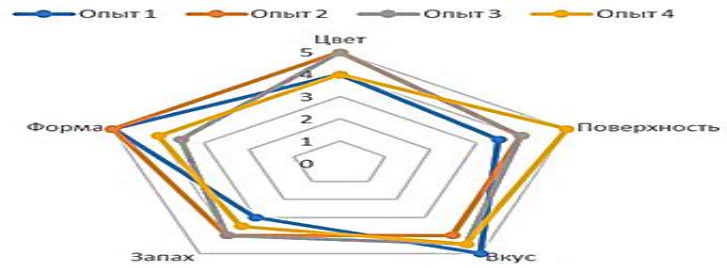


Рисунок 1.22 - Профилограмма органолептической оценки образцов карамели

Были рассчитаны показатели прогрессивности линии производства карамели:

$$К_а = 0,2871;\ К_{пот.} = 0,7129 \text{ и } К_{ск.} = 0,3267 \qquad (1.4)$$

Полученные результаты расчетов показали, что данная схема имеет коэффициенты поточности и собственных контуров $К_{пот} > К_{пот.теор.} = 0,655$ и $К_{ск} < К_{ск.теор.} = 0,500$, что позволяет сделать вывод о и перспективности цифровой трансформации ТП производства карамели [18].

Для автоматизации управления качеством производства карамели, оптимизации режимов работы этой линии и цифровой трансформации этого производства был осуществлен выбор основных факторов процесса, выявлены наиболее информативные характеристики ТП производства карамели. Данные исследования позволили разработать ФСС процессов производства карамели с указанием необходимых точек контроля и регулирования, представленную на рисунке 1.23.

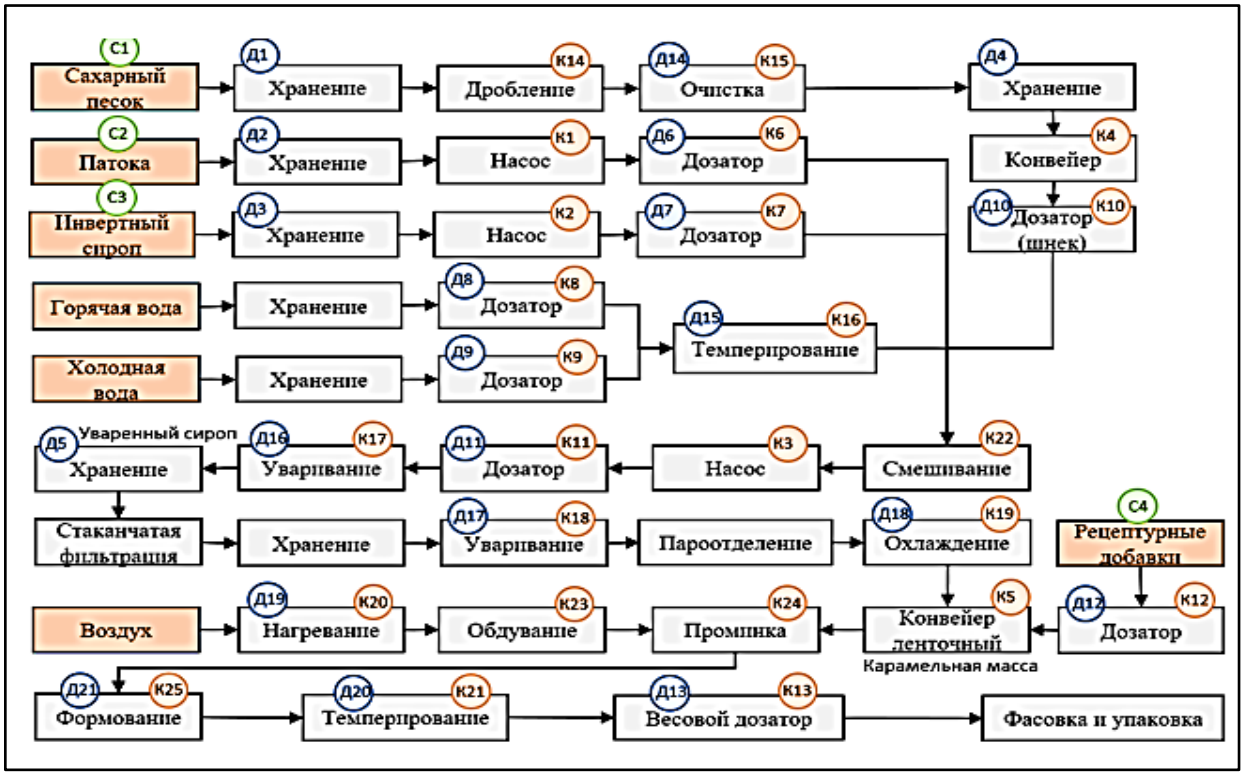


Рисунок 1.23 - ФСС процессов производства карамели с указанием необходимых точек контроля и регулирования.

1.2.6. Процесс приготовления зефира

Зефир — сахаристое кондитерское изделие, которое получается путем взбивания рецептурной смеси из пектино-сахаро-яблочного сиропа (или фруктово-ягодного пюре с сахаром), патоки, и яичного белка до пенообразной массы с последующим формованием этой массы методом отсадки [138,140]. Зефир относится к числу кондитерских изделий, рекомендуемых институтом питания РАМН для питания в детских садах и школах [195]. Зефир по многим показателям полезен малышам и подросткам. Благодаря содержащимся в нем углеводам белоснежное лакомство способствует умственной деятельности, а пищевые волокна помогают пищеварению. Все эти факты свидетельствуют об актуальности производства данного продукта и важности повышения эффективности его производства. Для исследования особенностей процесса производства зефира рассмотрим и проанализируем машино- аппаратурную схему линии производства зефира с непрерывным сбиванием зефирной массы под давлением, представленную на рисунке 1.24 [174].

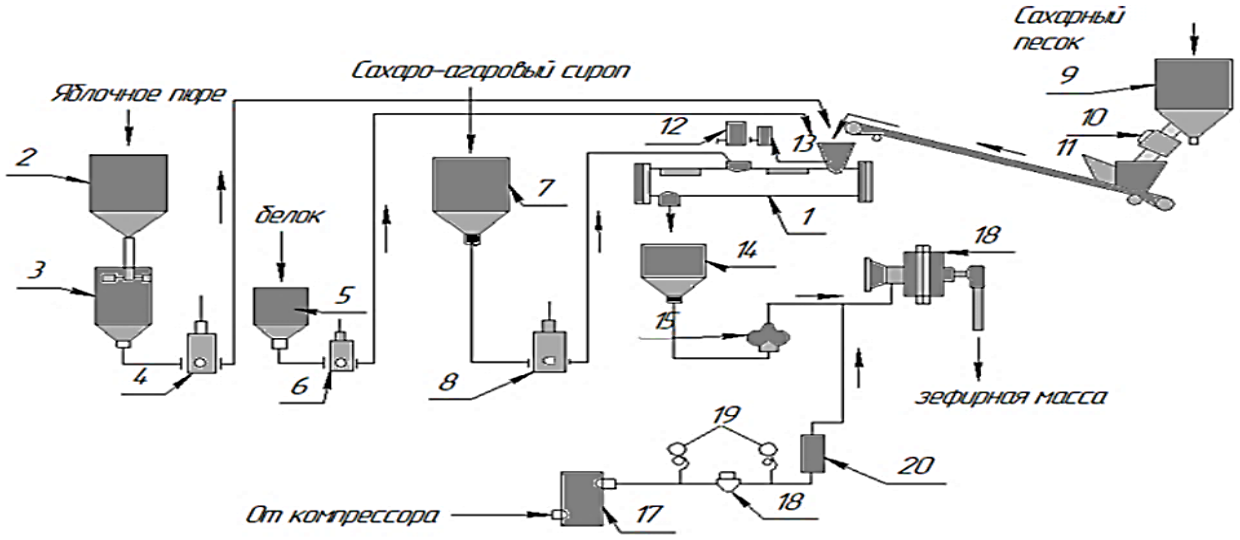


Рисунок 1.24 - Линия приготовления зефира

Приготовление рецептурной смеси для сбивания производится в смесителе *1,* в который непрерывно поступают все компоненты смеси — яблочное пюре из сборника *2* через бачок уровня *3* с плунжерным насосом *4,* яичный белок из бачка 5 с насосом *6,* уваренный сахаро-паточно-агаровый сироп из сборника 7 с плунжерным насосом 8. Сахарный песок из сборника 9 через магнитный уловитель *10* и дозирующее устройство 11 непрерывно подается в воронку смесителя. Для дозировки кислоты и красителя с эссенцией установлены бачки с дозирующими краниками соответственно *12* и *13.* Готовая рецептурная смесь поступает из смесителя *1* в приемный бачок *14*, из которого шестеренчатым насосом *15* непрерывно подается в сбивальный механизм *16;* при этом в смесь вводится под давлением воздух, поступающий из ресивера *17.* Сбивальная камера снабжена рубашкой для водяного охлаждения.

Основные стадии процесса производства зефира представлены на рисунке 1.25.



Рисунок 1.25 - Основные стадии процесса производства зефира

Структурная схема основных этапов производства зефира с указанием основных технологических и режимных параметров представлена на рисунке 1.26.

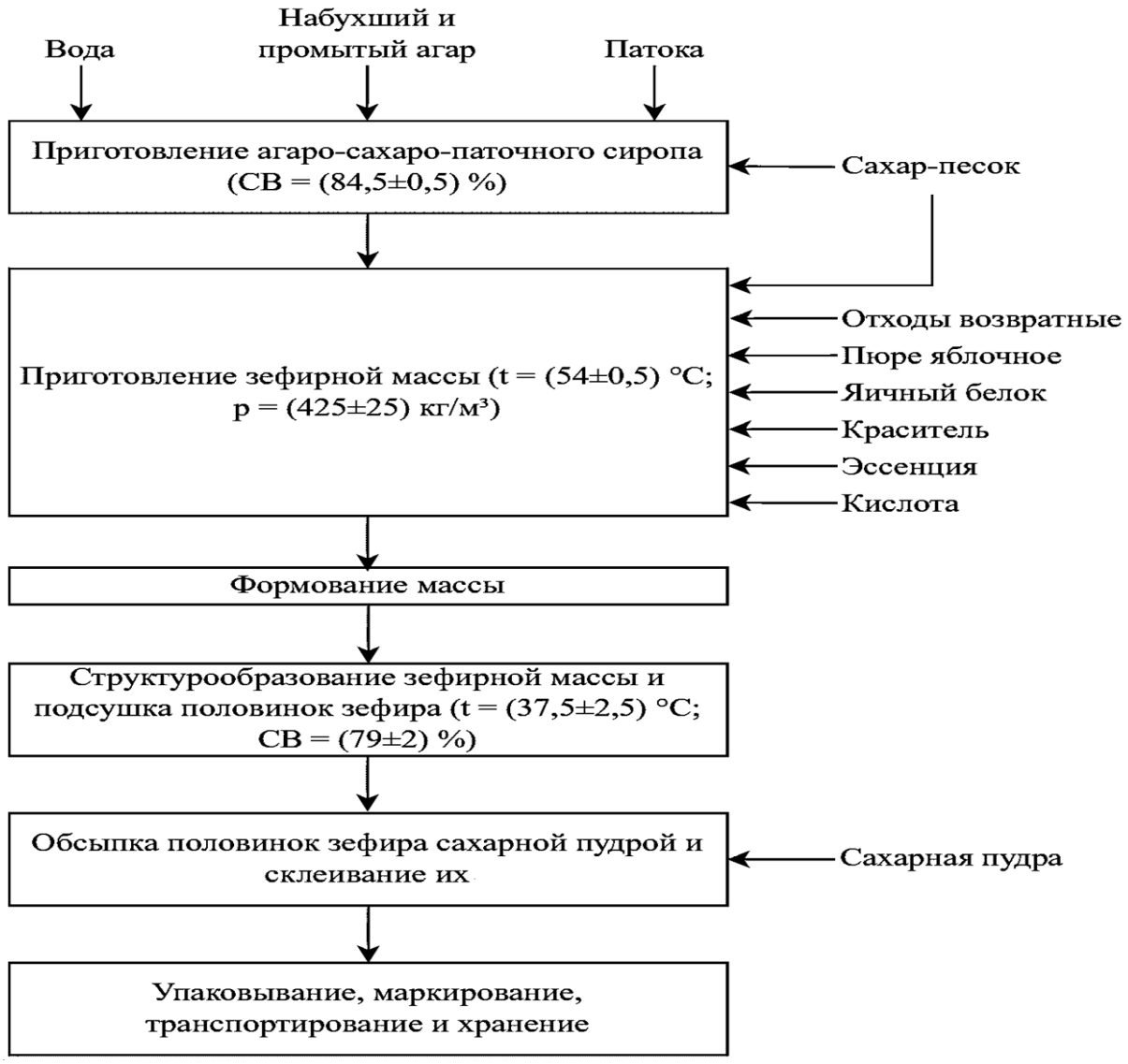


Рисунок 1.26 - Структурная схема основных этапов производства зефира с указанием технологических и режимных параметров

Анализ процесса производства зефира показал, что факторами, формирующими его качество являются: органолептические показатели сырья, технологические и режимные параметры процесса производства; квалификация экспертов и работников кондитерских фабрик и типы используемого оборудования. Основным документом, регламентирующим качество вырабатываемого в России зефира является ГОСТ 6441-2014 «Изделия кондитерские пастильные. Общие технические условия». В таблице 1.3 в соответствии с данным ГОСТом представлены органолептические показатели качества, контролируемые в процессе производства зефира.

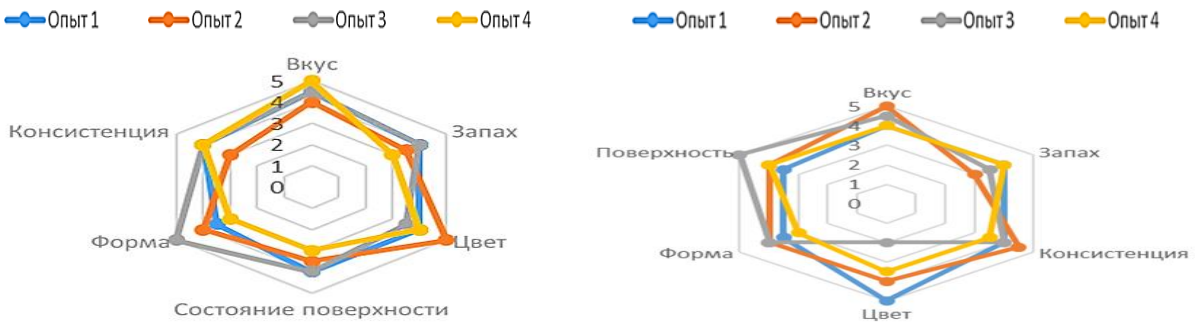
Органолептические показатели качества зефира

Таблица 1.3

Показатели	Описание
Поверхность (внешний вид)	Поверхность, свойственная зефиру, без грубого затвердевания на боковых гранях, без выделения сиропа. Чёткая гофра без дефектов поверхности.
Форма	Шарообразная или продолговатая, свойственная зефиру (2 соединенные половинки в форме полушария).
Цвет	Окраска равномерная, свойственная данному виду зефира; тон с сероватым оттенком
Вкус и запах	Свойственный зефиру, без постороннего привкуса и запаха.
Консистенция, структура	Мягкая, при разламывании сильно тянется. Структура, свойственная зефиру, равномерная, мелкопористая.

Органолептический анализ зефира проводят эксперты по качеству сенсорными методами с использованием дегустаций. Сначала должны быть приняты во внимание показатели, определяемые зрением (внешний вид, форма, цвет, блеск и т.д.), затем обонянием и осязанием, и, наконец, свойства, оцениваемые только посредством дегустации [173, 203, 212].

На рисунке 1.27 представлена профилограмма органолептической оценки исследуемых образцов зефира.



а) зефир на пектине б) зефир на агаре

Рисунок 1.27 - Профилограммы органолептической оценки образцов зефира

Были рассчитаны показатели прогрессивности линии приготовления зефира:

$$К_а = 0,2649;\ К_{пот.} = 0,7351 \text{ и } К_{ск.} = 0,3813 \qquad (1.5)$$

Полученные результаты расчетов показали, что данная схема имеет коэффициенты поточности и собственных контуров $К_{пот} > К_{пот.теор.} = 0,655$ и $К_{ск} < К_{ск.теор.} = 0,500$, что позволяет сделать вывод о и перспективности цифровой трансформации ТП производства зефира.

На рисунке 1.28 представлена разработанная ФСС процессов производства зефира с указанием необходимых точек контроля и регулирования.

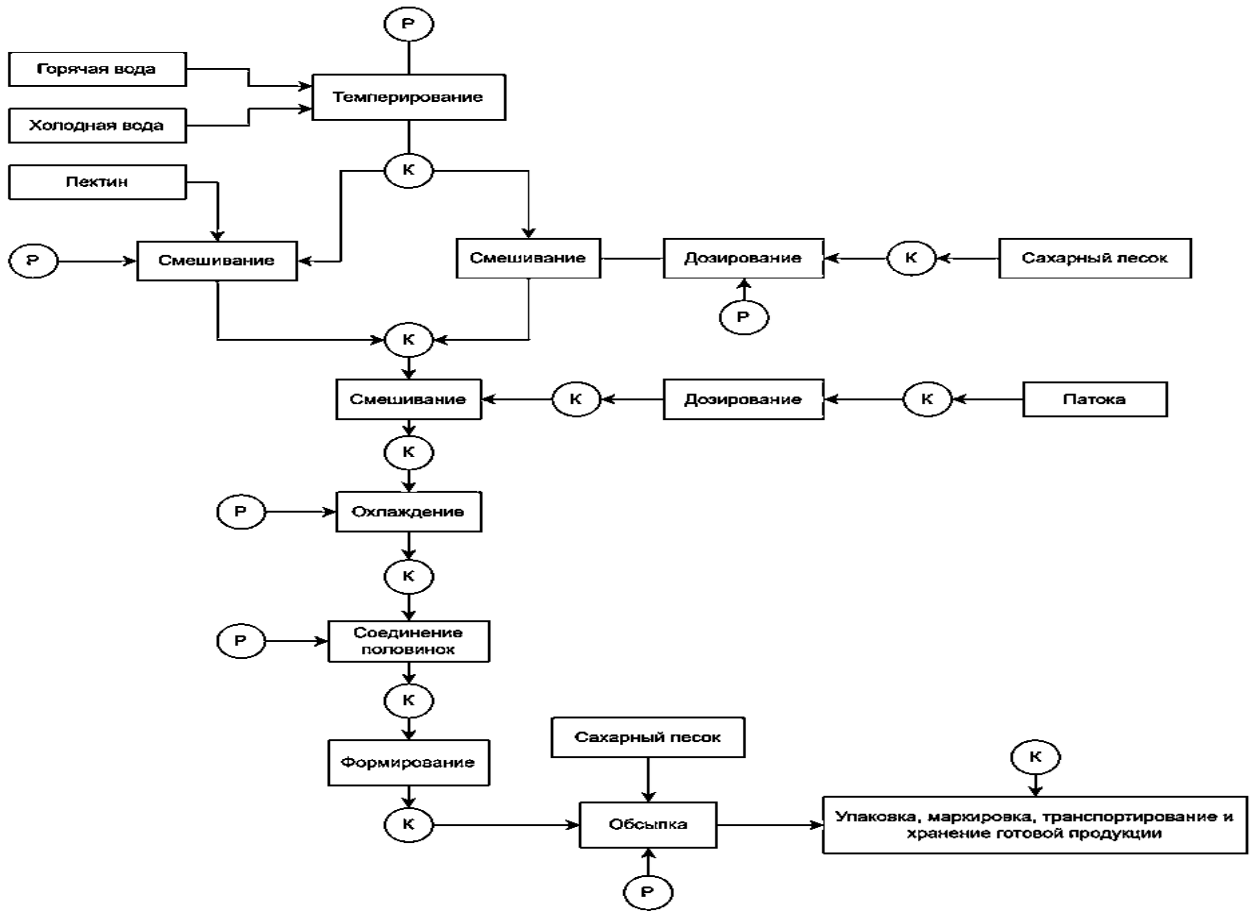


Рисунок 1.28 - ФСС производства зефира с необходимыми точками контроля и регулирования

1.2.7. Процесс приготовления козинак

Козинаки - восточная сладость, изготавливаемая из подсушенных или обжаренных орехов, или семян подсолнечника, смешанных с растопленным мёдом или сахаро-паточным сиропом. Козинаками называют также очищенные от шелухи семечки, или орехи в мёде или сахаре, прессованные в брикеты [121]. В России же чаще всего можно встретить облегченный вариант – козинаки на ос-

нове подсолнечных семечек [108]. Виды козинак: по форме- квадратные и прямоугольные; ромбические и треугольные; фигурные и др. В зависимости от состава: козинаки из семечек; козинаки из хлопьев; козинаки из воздушного риса; козинаки из орехов и т. д.

Для изучения ТП производства козинак как объекта автоматизации нами были исследованы особенности этого процесса. Машинно-аппаратурная схема производства непосредственно самих козинак представлена на рисунке 1.29.

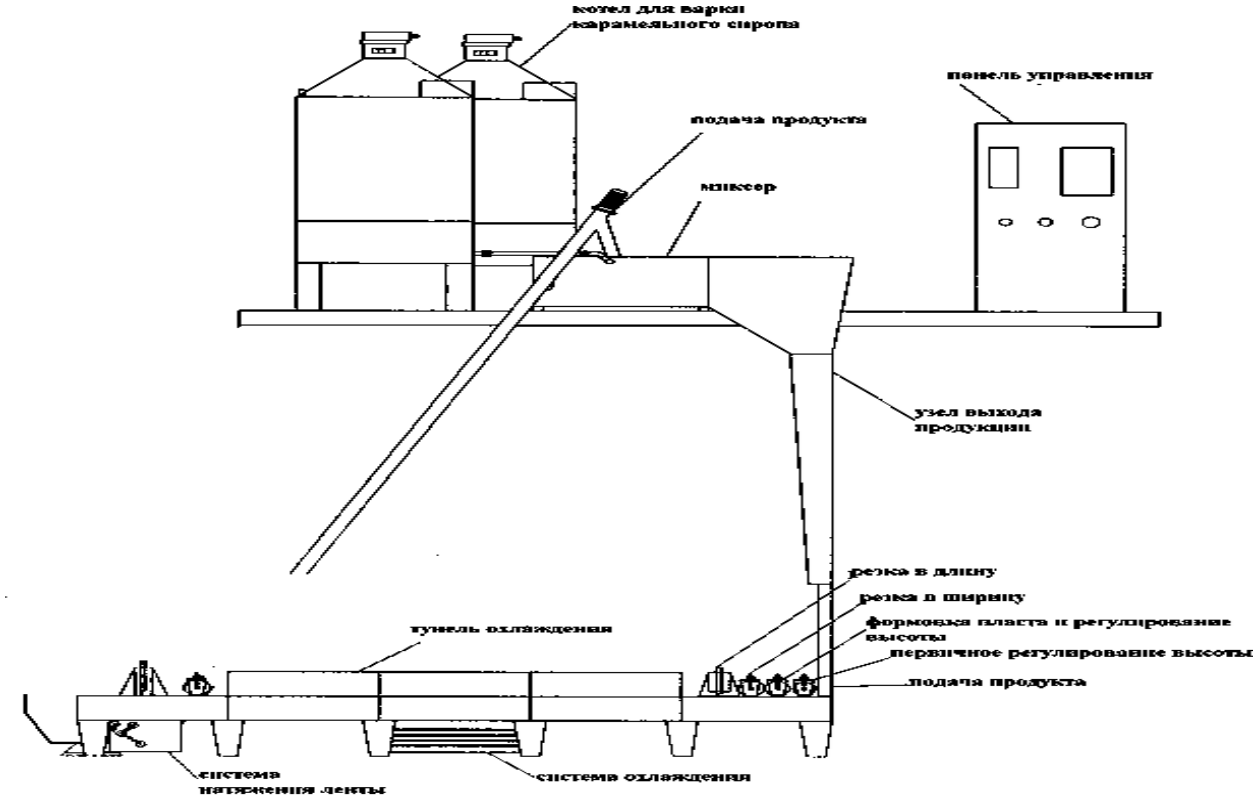


Рисунок 1.29 - Машинно-аппаратурная схема производства козинак

Готовность карамельной массы как основного сырья козинак определяется органолептически. Затем карамельная масса поступает на перемешивание с ядрами подсолнечника в месильную чашу. Далее массу перегружают на формующую линию с туннелем охлаждения. Нарезка изделий вдоль осуществляется валами, поперёк – пневматическими гильотинами. Охлаждение осуществляется вентиляторами сверху. Далее продукт направляется на упаковку.

Основные стадии производства козинак представлены на рисунке 1.30.

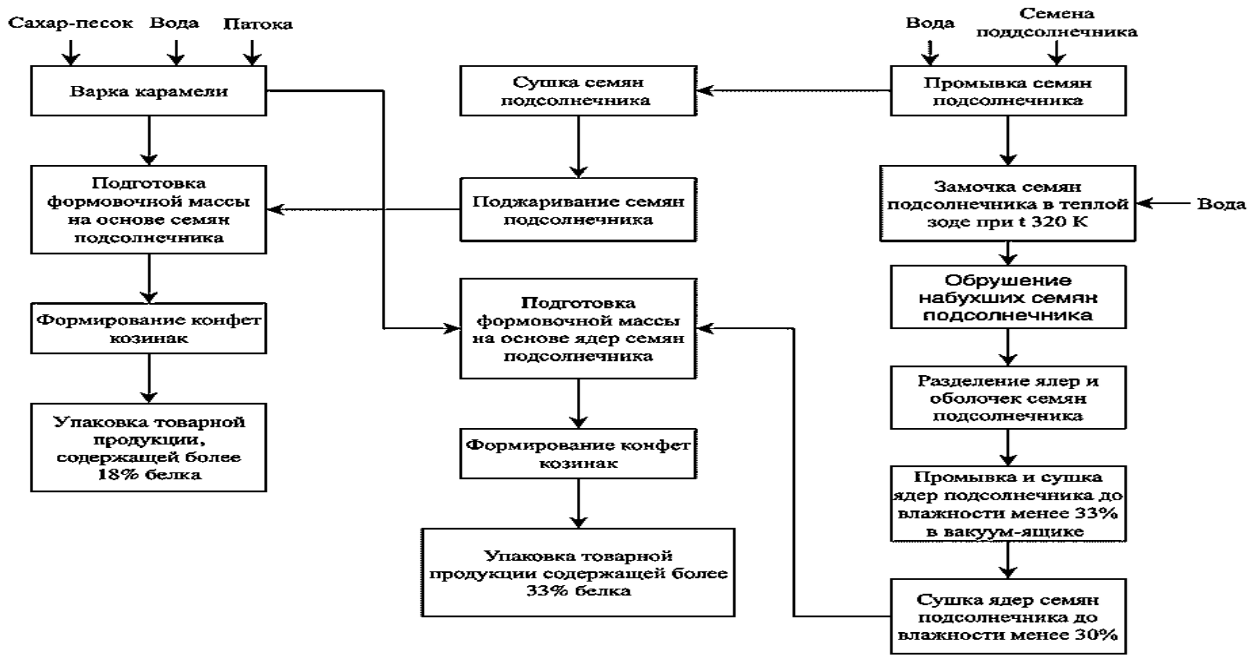


Рисунок 1.30 - Основные стадии процесса производства козинак

Требования к качеству козинак регламентирует ГОСТ 4570-93 «Конфеты. Общие технические условия». В таблице 1.4 представлены органолептические показатели качества, контролируемые в процессе производства конфет козинак, соответствующие требованиям этого ГОСТа.

Органолептические показатели качества козинак

Таблица 1.4

Показатели	Описание
Вкус и запах	Вкус приторно сладкий, без посторонних привкусов и запахов
Форма	Соответствует данному виду изделия, без деформаций
Консистенция	Твердая, вид на изломе стекловидный
Поверхность (внешний вид)	Поверхность сухая, глянцевая
Цвет	Светло- коричневый
Массовая доля влаги, %	3,2 – 3,5

В настоящее время органолептические показатели козинак, определяются экспертами кондитерских предприятий в специально отведенных помещениях качества сенсорными методами с использованием дегустаций. Конфеты не до-

пускаются в реализацию при обнаружении выраженных дефектов, а также в случае выявления фальсификации [138]. На рисунке 1.31 представлена профилограмма органолептической оценки исследуемых образцов козинак.



Рисунок 1.31 - Профилограмма органолептической оценки образцов козинак

Для определения эффективности линии производства козинак были рассчитаны коэффициенты асимметричности $К_{ас.}$, поточности $К_{пот.}$ и показатель наличия собственных контуров $К_{ск.}$:

$$К_а = 0,2977;\ К_{пот.} = 0,7023 \text{ и } К_{ск.} = 0,4235 \qquad (1.6)$$

Полученные результаты расчетов показали, что данная схема имеет коэффициенты поточности и собственных контуров $К_{пот} > К_{пот.теор.} = 0,655$ и $К_{ск} < К_{ск.теор.} = 0,500$, что позволяет сделать вывод о перспективности цифровой трансформации ТП производства козинак.

Для автоматизации управления качеством производства козинак была разработана ФСС процессов производства козинак с указанием необходимых точек контроля и регулирования, представленная на рисунке 1.32.

1.2.8. Процесс приготовления драже

Большой популярностью среди населения России пользуются драже, являющиеся разновидностью сахаристых конфет. Драже называют гладко отполированные, почти всегда блестящие кондитерские изделия округлой или овальной формы, небольших размеров, поверхность которых покрыта глянцевой защитной оболочкой или покрытое сахарной пудрой (клюква в сахаре) или сахарной пудрой с различными добавками [227].

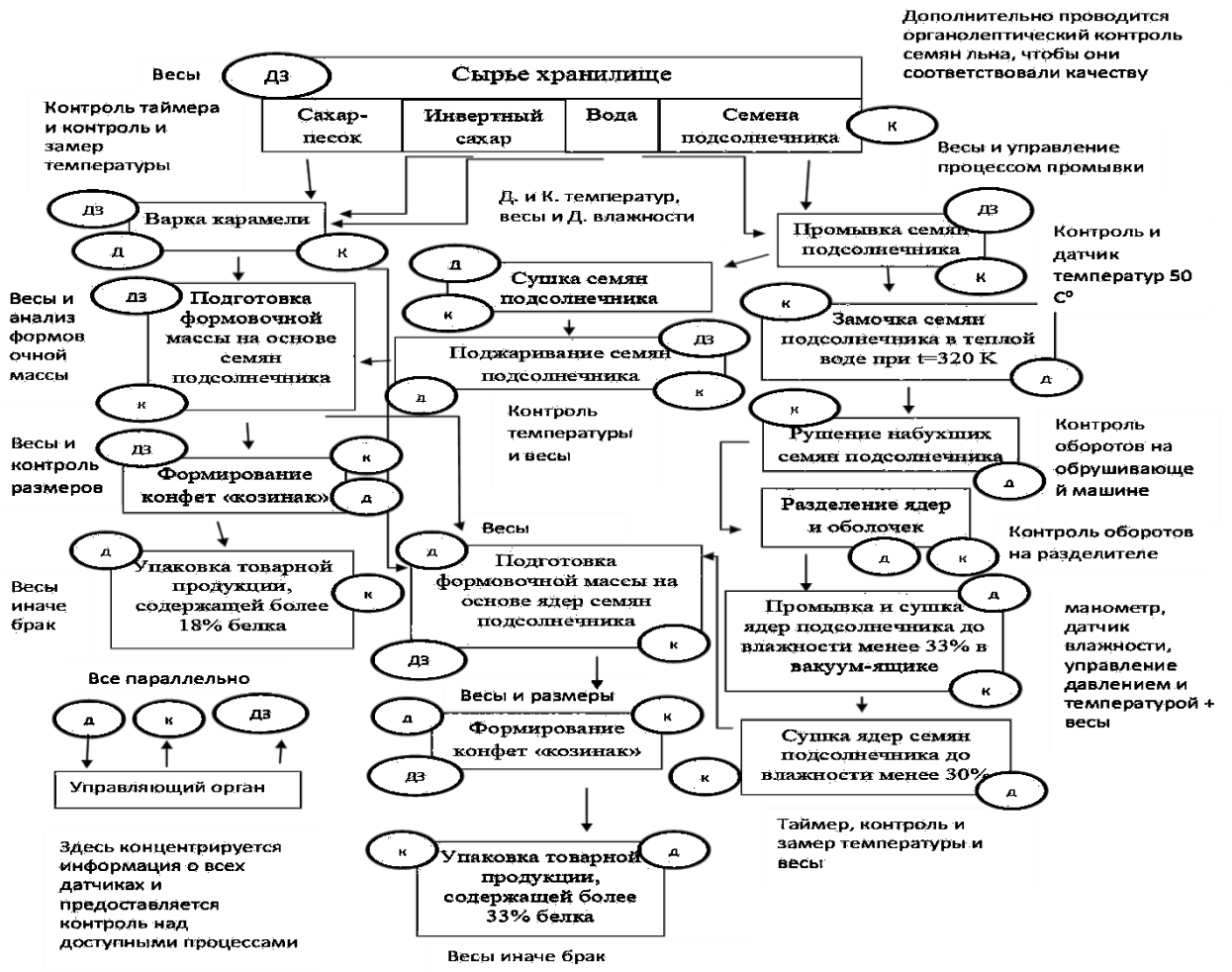


Рисунок 1.32 - ФСС производства конфет козинак с необходимыми точками контроля и регулирования (Д – датчики; К – контроллеры).

Схема линии производства драже показана на рисунке 1.33 [174].

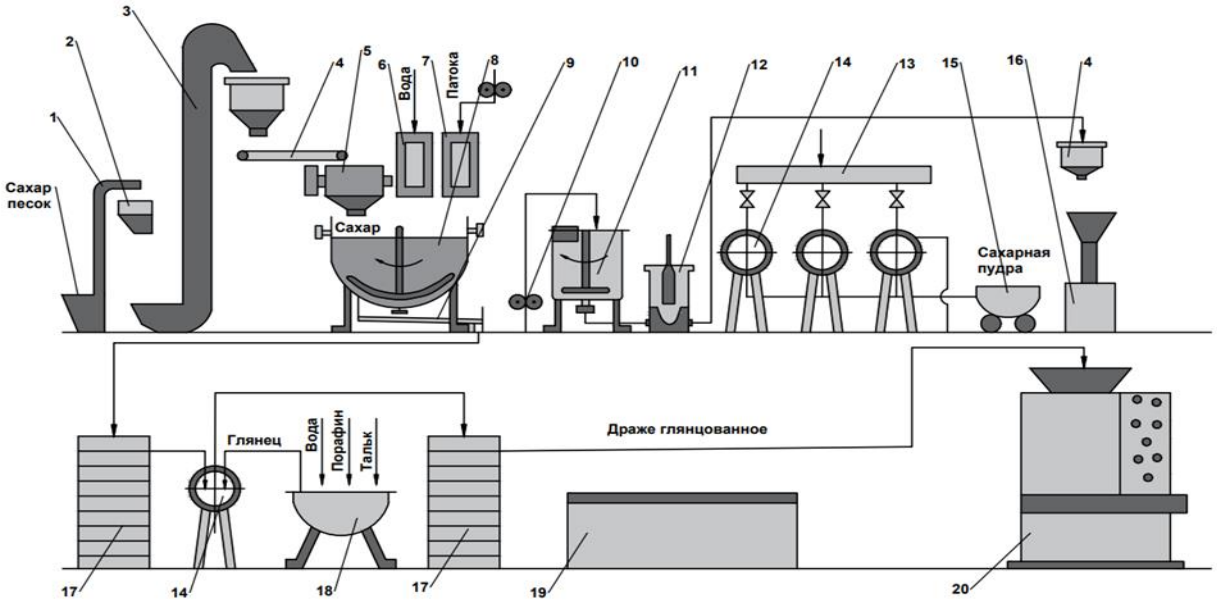


Рисунок 1.33 - Схема линии производства сахарного драже.

Подробно данная схема проанализирована в наших статьях [26, 27, 30, 39].

На рисунке 1.34 показаны основные стадии ТП производства драже разных видов, включающие: приготовление корпусов драже, т.е. основы драже; дражирование корпуса; глянцевание; фасование и упаковывание. Каждая из указанных стадий производства драже состоит из ряда операций, которые отличаются между собой в зависимости от уровня механизации и автоматизации кондитерского предприятия, группы и сорта вырабатываемого драже [26, 227].

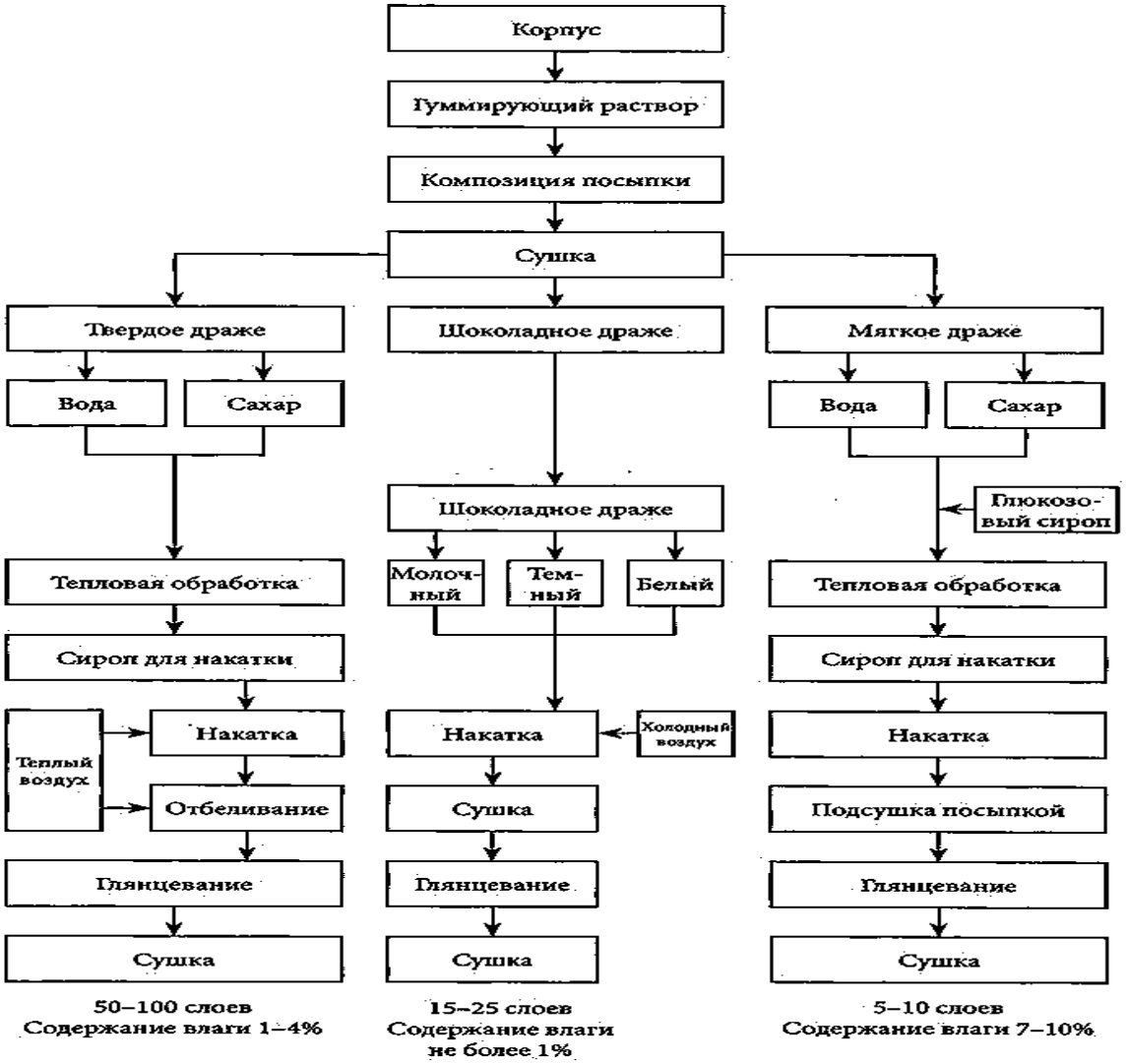
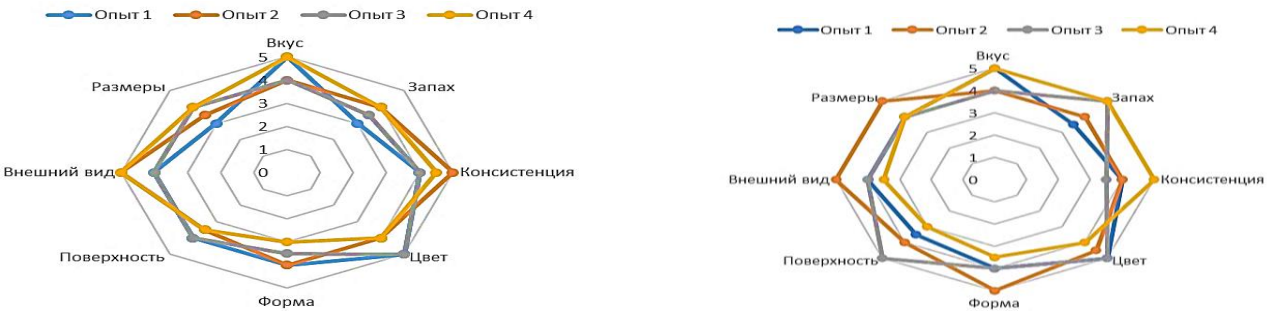


Рисунок 1.34 - Основные стадии ТП производства драже разных видов

Анализ существующих способов определения качества драже показал, что в настоящее качество готовых изделий определяют в соответствии с ГОСТ 7060-79. Межгосударственный стандарт. «ДРАЖЕ. Технические условия».

В настоящее время органолептические показатели драже, определяются сенсорными методами экспертами кондитерских предприятий с использованием дегустационного анализа в специально отведенных помещениях качества.

На рисунке 1.35 представлены профилограммы органолептической оценки исследуемых образцов драже.



а) твердое драже б) мягкое драже

Рисунок 1.35 - Профилограммы органолептической оценки драже разных видов

Были рассчитаны основные показатели линии производства драже:

$$К_а = 0{,}3013;\ К_{пот.} = 0{,}6987 \text{ и } К_{ск.} = 0{,}4462 \qquad (1.7)$$

Полученные результаты расчетов показали, что $К_{пот} > К_{пот.теор.} = 0{,}655$ и $К_{ск} < К_{ск.теор.} = 0{,}500$, что позволяет сделать вывод о возможности цифровой трансформации ТП производства драже [18].

По органолептическим показателям драже должны соответствовать требованиям, указанным в таблице 1.5.

Таблица 1.5

Показатели	Характеристика	Способ проверки на производстве
Форма	Соответствующая данному наименованию (овальная, округлая, плоская и др.). Для драже с желейными, ликерными, с цукатами, сушеными плодами и ягодами допускается неправильная форма	Определяют методом выборки с последующим взвешиванием дефектного продукта. Результат выражается в процентном эквиваленте относительно взятой пробы.
Размеры	Крупные размеры 300-250 штук в 1 кг Средние размеры 250-600 штук в 1 кг Мелкие размеры 600-1700 штук в 1 кг	Размеры определяют штангенциркулем по ГОСТ 166
Консистенция	Для ликерных сортов – жидкая сиропообразная Для помадных сортов - однородная мелко кристаллическая Для желейных сортов - желеобразная Для ореховых и карамельных сортов - твердая, легко раскусываемая	Определяют методом дегустации

Вкус и аромат	Ясно выраженные, характерные для данного изделия, без постороннего привкуса и запаха.Драже, содержащее жир, не должно иметь прогорклого, салистого или иного привкуса.	Определяют методом дегустации
Поверхность	Для сахарных и шоколадных сортов гладкая, блестящая, сорт Морские камешки имеет поверхность бугристую	Определяют по внешнему виду готового изделия.
Цвет	Окраска равномерная, достаточно выраженная, без пятен; разнообразная, предусмотренная рецептурой.	Определяют по внешнему виду готового изделия.
Внешний вид	Свойственный данному сорту драже. Для глянцованного драже поверхность гладкая блестящая; для драже «Морские камушки» — бугристая блестящая.	Определяют по внешнему виду готового изделия.

На рисунке 1.36 представлена разработанная ФСС процессов производства драже с указанием необходимых точек контроля и регулирования.

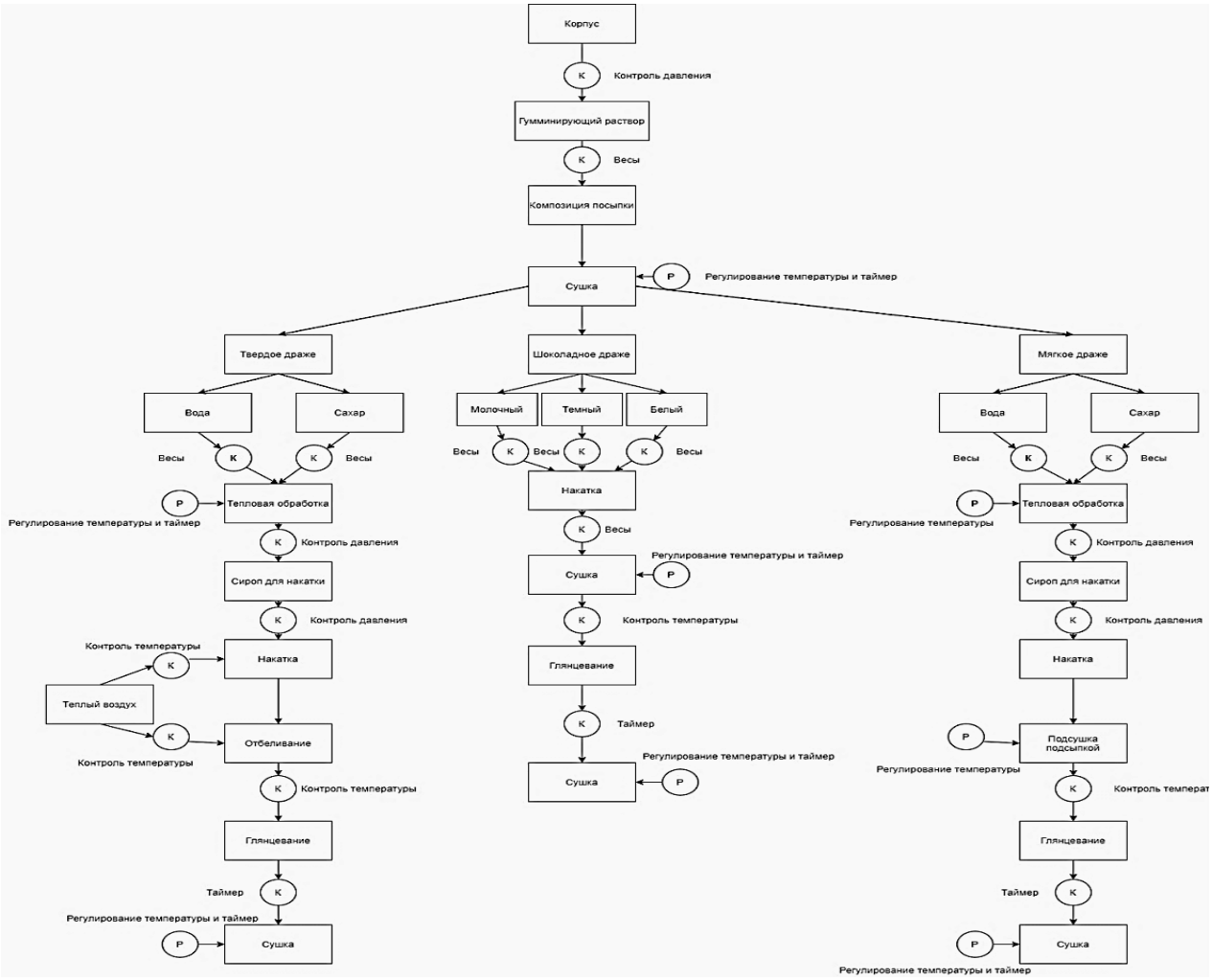


Рисунок 1.36 - Точки контроля и регулирования процессов производства драже

1.2.9. Процесс приготовления ириса

Ирис — помадная масса, получаемая при уваривании сгущённого молока с сахаром, патокой и жиром (сливочным либо маргарином) [136, 140]. Его структура может быть аморфной и кристаллической, что ставит ирис в промежуточное положение между конфетными изделиями и карамелью [138]. В зависимости от рецептуры вырабатывают: ирис молочный; на основе орехов и масличных семян [227]. В зависимости от способа изготовления массы ирис подразделяют на литой и тираженный.

На рисунке 1.37 представлена машинно-аппаратурная схема производства полутвердого литого ириса [174].

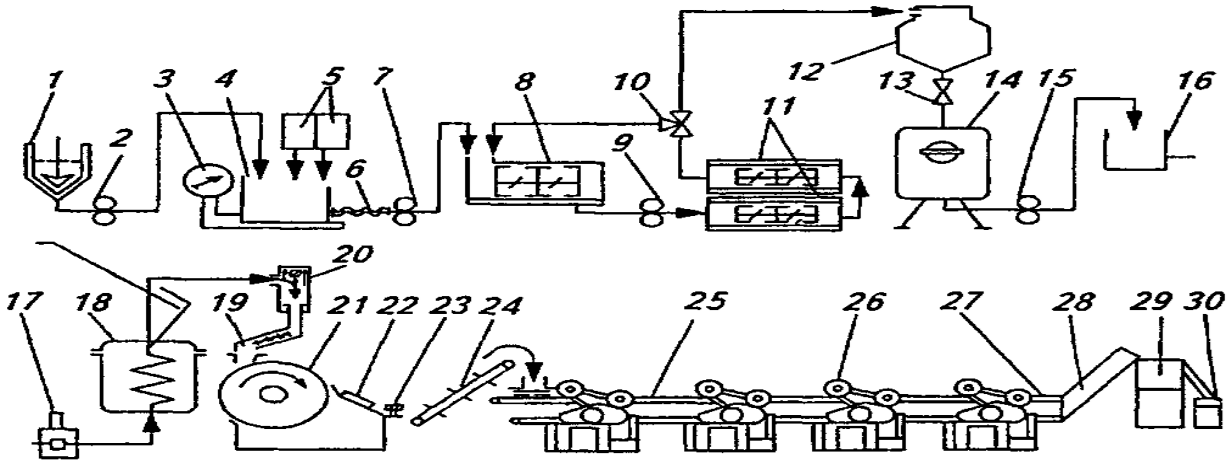


Рисунок 1.37 - Машинно – аппаратурная схема ТП производства ириса

Насосом 2 в сборник 4 дозируется жир, предварительно расплавленный в котелке с обогревом 1. Полученная рецептурная смесь закачивается в смеситель 8. В сборник 4 дозируется из сборников 5 сахаро-паточный сироп и сгущенное молоко. Туда же насосом 2 дозируется жир, предварительно расплавленный в котелке с обогревом 1. Далее полученная рецептурная смесь насосом 7 через шланг 6 закачивается в смеситель 8. Затем эта смесь подается насосом 9 в двухкамерный теплообменник 11. Из пароотделителя 12 горячий сахаропаточный молочный сироп стекает через кран 13 в накопительный сборник 14, откуда насосом 15 перекачивается в емкость 16, а затем насосом-дозатором 17 перекачивается через змеевиковую варочную колонку 18, где происходит уваривание смеси. Далее масса попадает в воронку 19 охлаждающей машины 27. Охлажденная

ирисная масса выходит из машины в виде ленты и с помощью специального приспособления 22 складывается в пласт. Затем ирисный пласт проходит на транспортер 24. В конце этого транспортера установлено ножевое устройство, где ирисная масса разрезается на куски и в таком виде подается на раздаточный транспортер 25. Далее специальные заслонки направляют куски ирисной массы в обкаточные машины. В них из ирисной массы формуется батон, из которого вытягивается и калибруется жгут, поступающий в ирисозаверточные автоматы 26. Завернутый ирис охлаждается воздухом на сетчатом транспортере 27. Готовый охлажденный ирис наклонным транспортером 28 подается для взвешивания к весам 29, а затем направляется на упаковывание в тару 30.

Основные стадии процесса приготовления ириса показаны на рисунке 1.38. Производство тиражированного ириса имеет дополнительную операцию — тиражение ирисной массы [108].

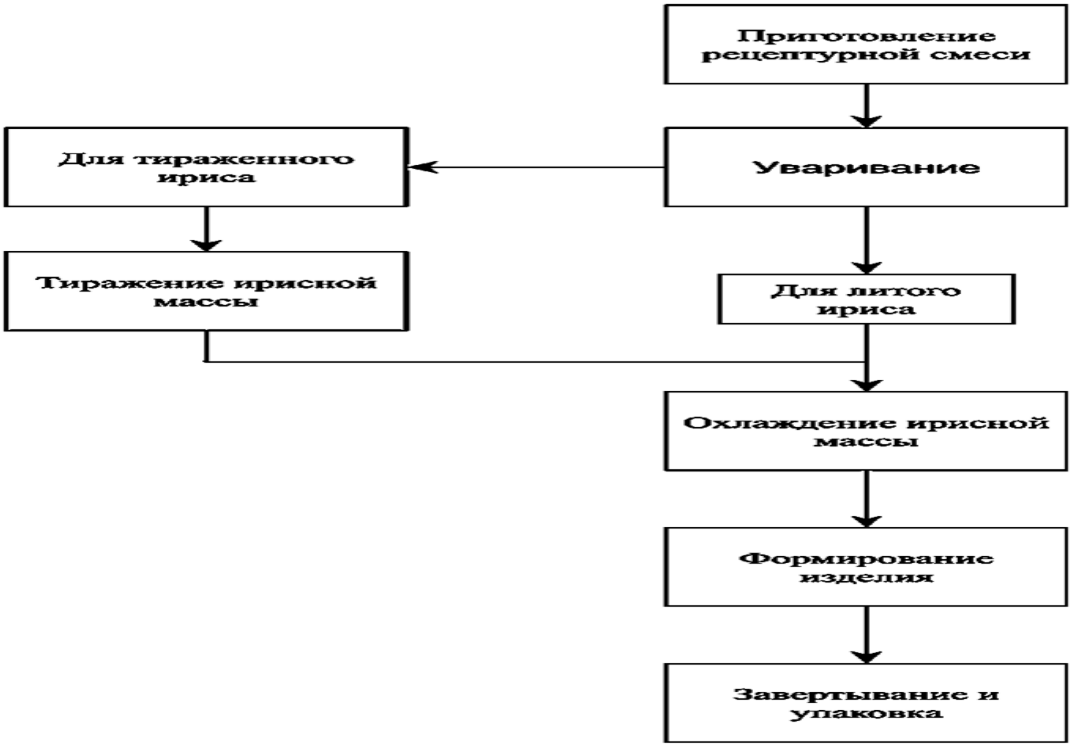


Рисунок 1.38 - Стадии ТП производства ириса

Анализ существующих способов показал, что в настоящее качество готового ириса определяют в соответствии с ГОСТ 6478-2014 «Ирис. Общие технические условия».

По органолептическим показателям качества ирис должен соответствовать требованиям данного ГОСТа, указанным в таблице 1.6.

Органолептические показатели качества ириса

Таблица 1.6

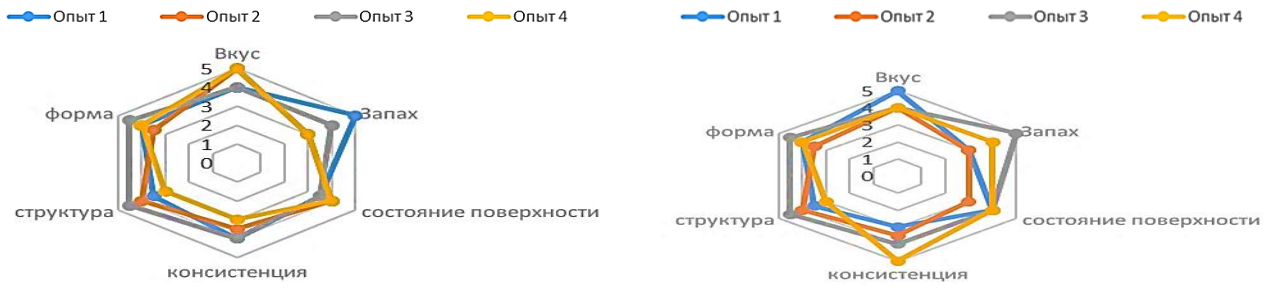
№ п/п	Наименование типовой операции	Определяющие факторы, зависящие от:		Наличие операций в схемах производства конфет/ показатели материала после обработки
		работы технологического оборудования	свойств сырья и перерабатываемого продукта	
1	2	3	4	5
1	Очистка (просеивание) и сортировка сыпучего сырья	Производительность, кинематические и конструктивные параметры оборудования/скорость, интенсивность, размеры отверстий сит, степень извлечения примесей, скорость воздуха	Влажность, содержание примесей, гранулометрический состав, скорости витания компонентов смеси	+ Влажность, содержание примесей, гранулометрический состав, температура, органолептические свойства
2	Очистка (фильтрация) жидкого сырья (коллоидные растворы, суспензии)	Производительность, кинематические и конструктивные параметры оборудования/скорость, интенсивность, материал фильтрующей поверхности, размер отверстий в фильтрах, степень извлечения примесей	Физические и структурно - механические свойства (влажность, вязкость, консистенция, прочностные свойства и т.д.), содержание примесей	+ Физические, органолептические, реологические свойства (влажность, вязкость, консистенция, прочностные свойства и т.д.), содержание примесей, температура
3	Размол, измельчение, дробление сырья, полуфабрикатов	Производительность, кинематические и конструктивные параметры оборудования/скорость, интенсивность, гранулометрический состав, дробление, истирание, удар, раскалывание), определяемый типом оборудования	Физические и структурно- механические свойства (влажность, вязкость, консистенция, плотность, прочностные свойства, гранулометрический состав)	+ Гранулометрический состав, массовая доля сухих веществ, массовая доля жира, температура, количество примесей
4	Тепловая обработка: разогревание, уваривание, сбивание, прогревание,охлаждение, согревание, сушка, обжаривание	Конструктивные параметры оборудования/скорость, интенсивность, продолжительность обработки, температура обработки, % влажности, количество зон нагрева или охлаждения, характер относительного движения теплоносителя и продукта	Начальная и конечная температура,	+ Температура, вязкость, консистенция, органолептические показатели (вкус, запах, цвет, форма и др.)

5	Перемешивание	Производительность, кинематические и конструктивные параметры оборудования/скорость, интенсивность, эффективность перемешивания (однородность получаемой массы), продолжительность перемешивания	Температура, рецептурный состав, реологические свойства	+ Однородность, температура,рецептурный состав, реологические и органолептические свойства, плотность, масса
6	Прессование	Производительность, рабочее давление, продолжительность цикла прессования, кинематические и конструктивные параметры	Начальная влажность, начальная температура, дисперсность, начальные реологические свойства	+ Влажность, температура, дисперсность, реологические и органолептические свойства, состав, плотность
7	Формование	Производительность, Рабочее давление, продолжительность цикла формования, кинематические и конструктивные параметры	Начальная влажность, начальная температура, дисперсность, начальные реологические свойства	+ Реологические и органолептические свойства

Исследование качества ирисовых изделий начинают с органолептической оценки. Эксперты- дегустаторы для анализа органолептических показателей разрезают ирисные изделия по диагонали и берут две противоположные части. Отобранные пробы помещают в чистые сухие стеклянные банки с притертой или хорошо прижатой резиновой пробкой и в специальной лаборатории на кондитерском предприятии анализируют сенсорными методами качество полученных изделий по показателям, указанным в таблице 1.6.

Изучение особенностей ТП производства ириса показало, что на органолептические показатели качества ириса большое влияние оказывают: качество используемого сырья, рецептура, технологические и режимные параметры ТП производства. В результате тепловой обработки появляется характерный вкус и аромат ириса, масса становится вязкой, приобретает темный цвет. К дефектам органолептических показателей ириса, в первую очередь, необходимо отнести дефекты вкуса и запаха: посторонние привкус и запах, резкий запах пищевого ароматизатора, привкус прогорклости, хруст на зубах и др. Дефектами цвета являются: неоднородная окраска, ее грязные тона. Дефектами консистенции могут

быть грубые, крупные, малоизмельченные частицы, неоднородность. К дефектам формы можно отнести трещины на лицевой стороне, деформацию (помятости, надломы), искривления граней и ребер. При хранении ирис может усыхать, черстветь, становиться твердым. На рисунке 1.39 представлена профилограммы органолептической оценки исследуемых образцов ириса.



а) литой полутвердый ирис б) тираженный полутвердый

Рисунок 1.39 - Профилограмма органолептической оценки образцов ириса

Были рассчитаны показатели эффективности оинии производства ириса:

$$К_а = 0,2376;\ К_{пот.} = 0,7624 \text{ и } К_{ск.} = 0,4125 \qquad (1.8)$$

Полученные результаты расчетов показали, что данная схема имеет коэффициенты поточности и собственных контуров $К_{пот} > К_{пот.теор.} = 0,655$ и $К_{ск} < К_{ск.теор.} = 0,500$, что позволяет сделать вывод о перспективности цифровой трансформации данных линий.

На рисунке 1.40 представлена разработанная ФСС процессов производства ириса с указанием необходимых точек контроля и регулирования.

1.3. Классификация основных операций ТП производства кондитерской продукции и выбор факторов, определяющих эффективность этих операций

Проведенные исследования позволили провести классификацию основных операций процессов производства кондитерсой продукции и выбрать факторы, определяющие эффективность этих операций (таблица 1.7).

Полученная таблица позволяет выявить факторы, влияющие на состояние полуфабрикатов и готовых кондитерских изделий при выполнении различных операций и является основой модификации ФСА различных видов кондитерской продукции.

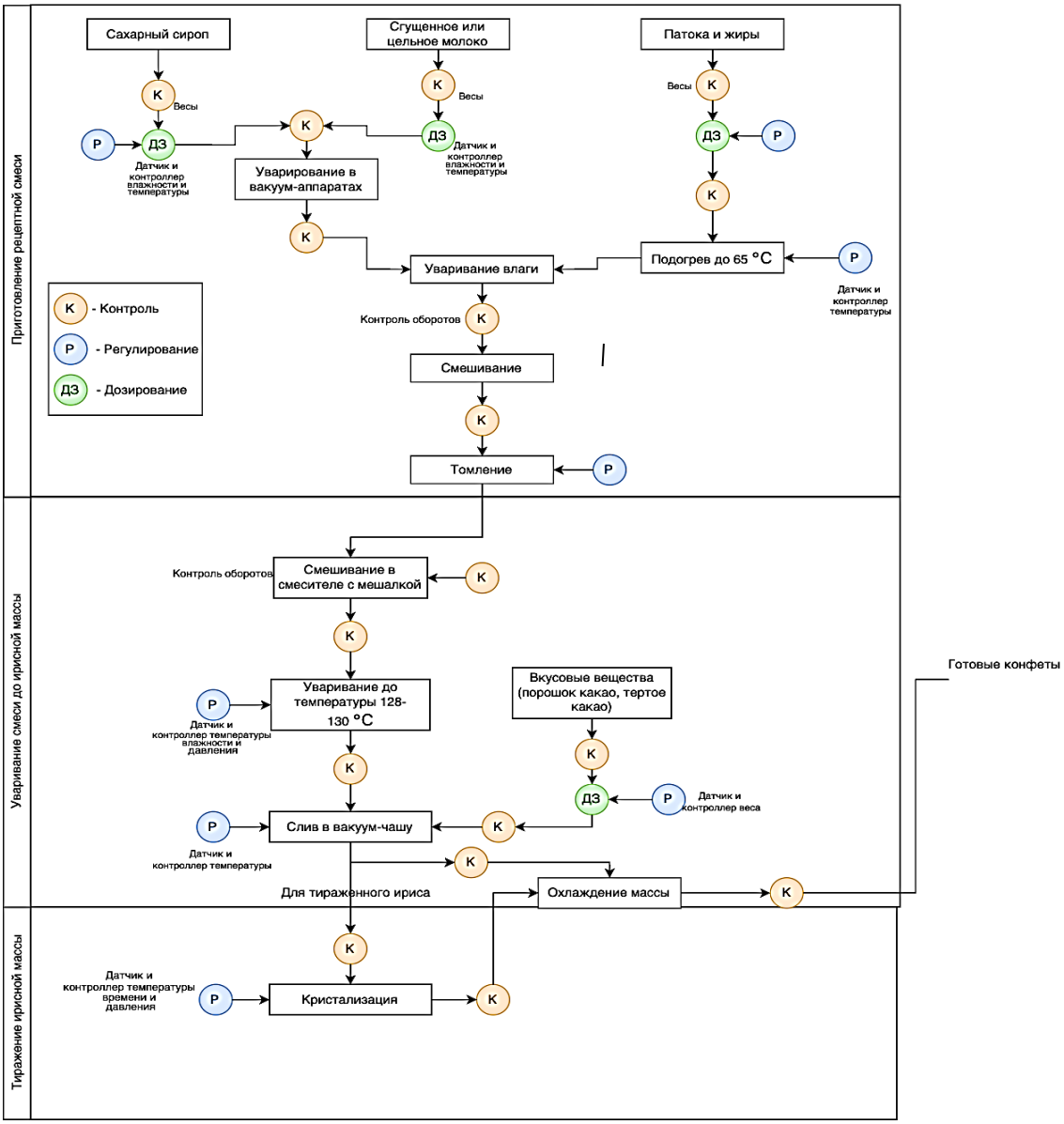


Рисунок 1. 40 - Точки контроля и регулирования процессов производства ириса

Основные типовые операции ТП производства кондитерской продукции и факторы, определяющие эффективность этих операций

Таблица 1.6.

№ п/п	Наименование типовой операции	Определяющие факторы, зависящие от:		Наличие операций в схемах производства конфет/ показатели материала после обработки
		работы технологического оборудования	свойств сырья и перерабатываемого продукта	
1	2	3	4	5

1	Очистка (просеивание) и сортировка сыпучего сырья	Производительность, кинематические и конструктивные параметры оборудования/скорость, интенсивность, размеры отверстий сит, степень извлечения примесей, скорость воздуха	Влажность, содержание примесей, гранулометрический состав, скорости витания компонентов смеси	+ Влажность, содержание примесей, гранулометрический состав, температура, органолептические свойства
2	Очистка (фильтрация) жидкого сырья (коллоидные растворы, суспензии)	Производительность, кинематические и конструктивные параметры оборудования/скорость, интенсивность, материал фильтрующей поверхности, размер отверстий в фильтрах, степень извлечения примесей	Физические и структурно - механические свойства (влажность, вязкость, консистенция, прочностные свойства и т.д.), содержание примесей	+ Физические, органолептические, реологические свойства (влажность, вязкость, консистенция, прочностные свойства и т.д.), содержание примесей, температура
3	Размол, измельчение, дробление сырья, полуфабрикатов	Производительность, кинематические и конструктивные параметры оборудования/скорость, интенсивность, гранулометрический состав, дробление, истирание, удар, раскалывание), определяемый типом оборудования	Физические и структурно- механические свойства (влажность, вязкость, консистенция, плотность, прочностные свойства, гранулометрический состав)	+ Гранулометрический состав, массовая доля сухих веществ, массовая доля жира, температура, количество примесей
4	Тепловая обработка: разогревание, уваривание, сбивание, прогревание,охлаждение, согревание, сушка, обжаривание	Конструктивные параметры оборудования/скорость, интенсивность, продолжительность обработки, температура обработки, % влажности, количество зон нагрева или охлаждения, характер движения теплоносителя и продукта	Начальная и конечная температура,	+ Температура, вязкость, консистенция, органолептические показатели (вкус, запах, цвет, форма и др.)
5	Перемешивание	Производительность, кинематические и конструктивные параметры оборудования/скорость, интенсивность, продолжительность эффективность перемешивания (однородность получаемой массы),	Температура, рецептурный состав, реологические свойства	+ Однородность, температура,рецептурный состав, реологические и органолептические свойства, плотность, масса
6	Прессование	Производительность, рабочее давление, продолжительность цикла прессования, кинематические	Начальная влажность, начальная температура, дисперсность,	+ Влажность, температура, дисперсность, рео-

		и конструктивные параметры	начальные реологические свойства	логические и органолептические свойства. состав, плотность
7	Формование	Производительность, Рабочее давление, продолжительность цикла формования, кинематические и конструктивные параметры	Начальная влажность, начальная температура, дисперсность, начальные реологические свойства	+ Реологические и органолептические свойства

1.4. Выявление наиболее важных органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции, контролируемых на каждой стадии производства кондитерских изделий

Анализ производства различной кондитерской продукции как объектов автоматизации: шоколада; сбивных конфет; халвы; мармелада; карамели; зефира; козинак; драже и ириса (п.п. 1.2.1 – 1.2.10) показали, что качество кондитерских изделий регламентируют соответствующие на эти изделия ГОСТы, ГОСТ 5897-90 «Изделия кондитерские. Методы определения органолептических показателей качества, размеров, массы нетто и составных частей», Санитарные правила и нормы, Технические регламенты, ISO 11036—2017 «Органолептический анализ. Методология. Характеристики структуры», а также Стандарты кондитерских предприятий на кондитерскую продукцию. Данные документы устанавливает методы определения органолептических показателей конфет: их внешнего вида, вкуса, запаха, цвета, размеров и т.д.

Порядок и необходимые точки контроля и регулирования показателей качества различных кондитерских изделий в виде структурных схем основных операций производства установлены и приведены в разделе 1.2 «Исследование и анализ ТП кондитерского производства как объектов автоматизации». Также в данной главе на разработанных профилограммах органолептической оценки исследуемых образцов различных типов конфет были представлены основные органолептические показатели качества исследуемых кондитерских изделий. Проведенные исследования позволили получить таблицу 1.8, в которой показаны

наиболее важные органолептические показатели качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции, контролируемые на каждой стадии производства.

Таблица 1.8

Основные органолептические показатели качества конфет

№ п/п	Наименование производства	Основные органолептические показатели качества кондитерской продукции в соответствии с ГОСТами и НТД
1	Подготовка сырья к производству продукции	Вкус; запах; цвет, внешний вид; состояние поверхности; целостность; коэффициент извлечения примесей в сырье; консистенция; угол естественного откоса сыпучих масс
2	Производство шоколада, в том числе пористого	Вкус, запах, цвет, внешний вид, форма, консистенция, структура (степень измельчения), состояние поверхности; блеск поверхности.
3	Производство глазированных помадных и пралиновых конфет	Вкус; запах, форма; цвет; структура, состояние поверхности изделия; консистенция.
4	Производство сбивных конфет	Форма; цвет; консистенция; состояние поверхности сбивных конфет, глазированных шоколадной глазурью; вкус, запах.
5	Производство халвы	Цвет; консистенция; состояние поверхности; вкус; запах; структура; угол естественного откоса используемого сырья.
6	Производство мармелада	Цвет; консистенция; состояние поверхности; форма; вкус; запах.
7	Производство карамели	Цвет; состояние поверхности; форма; вкус; запах; консистенция.
8	Производство зефира	Цвет; состояние поверхности; форма; вкус; запах; консистенция.
9	Производство козинак	Форма; вкус; запах; консистенция; внешний вид.
10	Производство драже	форма, вкус, запах, консистенция, внешний вид, цвет, состояние поверхности, размеры, блеск поверхности.
11	Производство ириса	Форма, вкус, запах, консистенция, состояние поверхности, структура.

Анализ полученной таблицы 1.8 позволил сделать заключение о потребности разработки и внедрения интеллектуальных средств автоматического контроля в режиме реального времени выявленных основных органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых конфет и на их базе создания ИСАКиУК кондитерской продукции.

1.5. Системный анализ и формулирование проблемы

1.5.1. Разработка структуры целей

Всю совокупность целей данной работы можно подразделить на следующие виды: научно-техническая, производственная, экономическая, социальная, маркетинговая и финансовая [25].

Использование концепции «дерева целей» позволяет систематизировать и структурировать, полученную ранее информацию, построить планы предстоящих исследований и увидеть первостепенные цели и необходимые для их реализации подцели. Также, дерево целей позволяет выявить, какие возможные комбинации обеспечат оптимальный результат, определить взаимосвязи между отдельными элементами исследуемого объекта. Достичь главной цели, сформулированной во введении можно только достигнув ее подцелей. Из них сформирован план разработки ИСАКиУ.

Подцели:

1. Увеличение объема выпускаемой продукции с заданным качеством – эта подцель является важной, так как позволит снабдить потребителей кондитерской продукцией высокого качества. Достичь данной подцели можно, реализовав следующие задачи и функции:

1.1. Снижение брака. Для этого необходимо:

1.1.1. Повысить уровень организации производства и управления.

1.1.2. Строго соблюдать технологические режимы производства.

1.1.3. Знать в любой момент времени объемы производственных ресурсов.

1.2. Автоматизация производства. Для этого необходимо:

1.2.1. Автоматизация и внедрение интеллектуальных средств контроля, в первую очередь, органолептических показателей качества кондитерских изделий.

1.2.2. Повышение производительности линий производства кондитерской продукции за счет внедрения интеллектуальных средств контроля и управления.

1.2.3. Уменьшение издержек производства и производственных затрат за счет внедрения интеллектуальных средств контроля и управления.

1.2.4. Повышение качества производимой продукции за счет непрерывного АК в потоке органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых кондитерских изделий.

1.3. Закупка качественного сырья. Для этого необходимо:

1.3.1. Обеспечить контроль показателей качества сырья по ГОСТу.

2. Обеспечение инвестиций в производство – позволит составить план по внедрению новых интеллектуальных методов, технологий и средств автоматизации, способных облегчить процесс производства. Достичь этой подцели можно, реализовав следующие задачи и функции:

2.1. Планирование развития. Для этого необходимо разработать:

2.1.1. График ПРП (планирования развития производства).

2.1.2. План по освоению новых видов продукции.

2.2. Разработка новых решений. Для этого необходимо:

2.2.1. Разработка методов и способов АК в потоке органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции.

2.2.2. Разработка ситуационных, параметрических и математических моделей всех этапов производства кондитерской продукции.

2.2.3. Разработка алгоритмов и ПО задач интеллектуального управления качеством готовых кондитерских изделий в процессе производства.

2.3. Закупка лицензий и оборудования. Для этого необходимо:

2.3.1. Анализ оборудования и имеющихся лицензий на рынке.

3. *Снижение затрат на производство* – данная подцель является жизненно важным для производства, поскольку для снижения затрат необходимо иметь единое централизованное автоматизированное управление.

Достичь этой подцели можно реализовав следующие задачи и функции:

3.1. Автоматизация производства. Для этого необходимо:

3.1.1. Автоматизировать контроль важнейших органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции с применением интеллектуальных технологий (ИТ).

3.1.2. Разработать ИСАКиУК выпускаемой продукции. Для этого:

- разработать методы и средства автоматизации принятия решений управления;
- привлечь математический аппарат и разработать структурно- параметрические и математические модели основных этапов производства продукции;
- проработать перспективы ИСАКиУК кондитерской продукции, изучив характеристику различных методов и технологий искусственного интеллекта и подобрав наиболее интересный вариант их использования в решении задач цифровизации производства кондитерских изделий.

3.2. Осуществлять планирование и составление своевременного графика ремонтного обслуживания используемого оборудования. Для этого необходимо:

3.2.1. Осуществлять систематический контроль обеспечения необходимых режимов работы оборудования.

3.2.2. Осуществлять своевременный ремонт используемого оборудования.

4. *Повышение качества продукции* – данная подцель позволит избежать брака на производстве, что позволит выпускать готовую продукцию высокого качества.

Достичь этой подцели можно, реализовав следующие задачи и функции:

4.1. Автоматизация процесса контроля и управления производством. Для этого необходимо обеспечить:

4.1.1. Автоматизацию контроля качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции с использованием интеллектуальных технологий.

4.1.2. Разработку математического, алгоритмического и программного обеспечения ИАСКУК кондитерской продукции в процессе производства,

4.2. Внедрение интеллектуальных технологий в существующую АСУ ТП производства кондитерской продукции. Для этого необходимо обеспечить:

4.2.1. Разработку и внедрение НСТ для создания виртуальных датчиков контроля показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции.

4.2.2. Разработку и внедрение интеллектуальных систем и технологий (компьютерное зрение, мультиагентные технологии, технологии интернета вещей и др.

5. Повышение квалификации *персонала,* поскольку с внедрением новых ИТ потребуется персонал, способный на этом оборудовании работать.

Достичь этой подцели можно, реализовав следующие задачи и функции:

5.1. Проведение обучения. Для этого необходимо обеспечить:

5.1.1. Создание специальных обучающих курсов и программ.

5.1.2. Подбор высококвалифицированных преподавателей.

5.1.3. Проверку необходимых знаний с применением разработанных специализированных программных продуктов.

Для понимания целей создания ИСАКиУК кондитерской продукции было разработано дерево целей, представленное на рисунке 1.41.

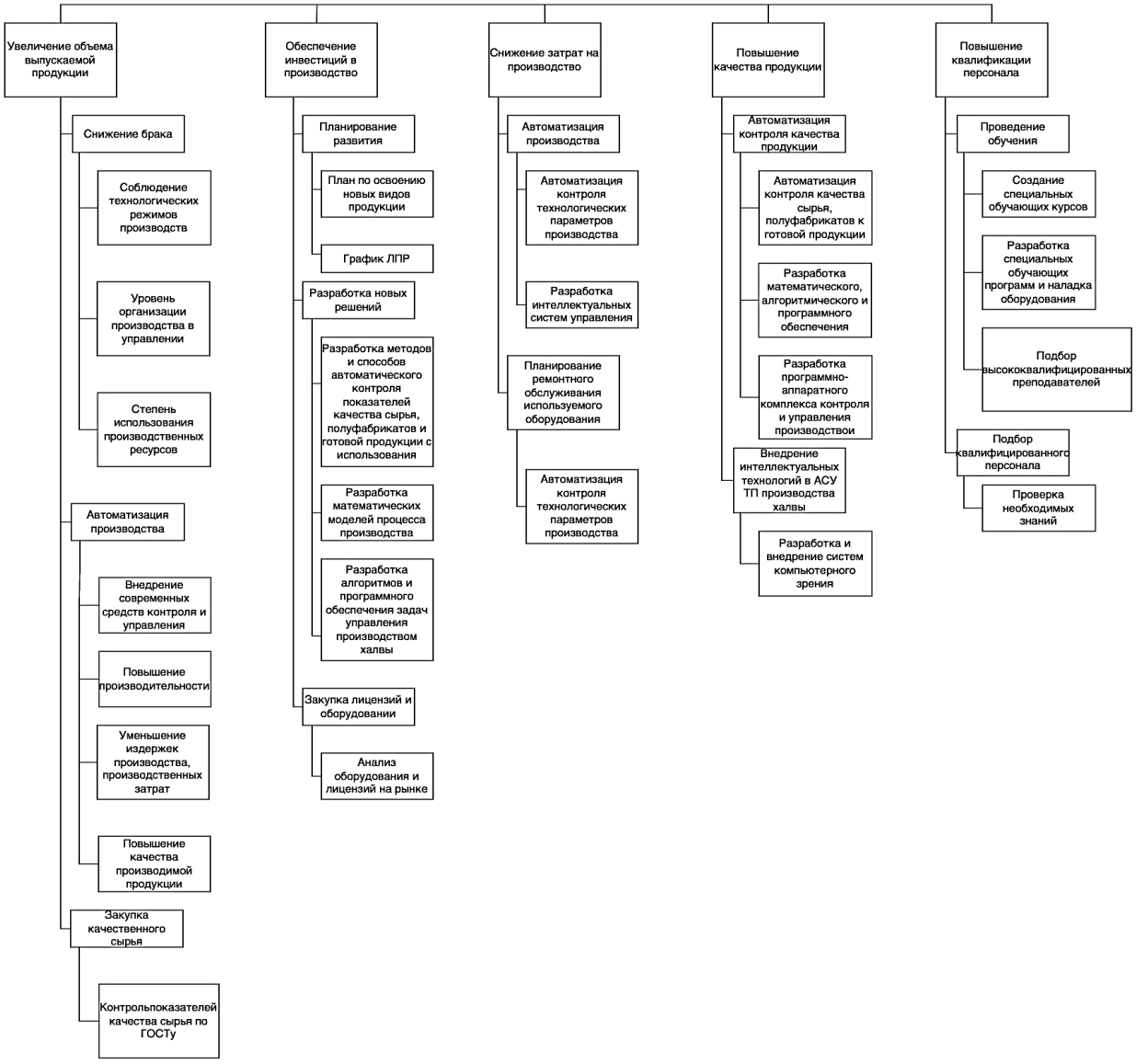


Рисунок 1.41 - Дерево целей

1.5.2. Создание системной диаграммы решения проблемы

Для построения системной диаграммы решения проблемы не обязательно использовать все вышеперечисленные элементы. Связи в контурах обратной связи могут быть как увеличивающими (суммирующими), так и уменьшающими (вычитающими). А сами контуры могут быть уравновешивающими или усиливающими. Суммирующие связи отмечаются знаком «+», уравновешивающие (вычитающие) связи отмечаются знаком «-». На рисунке 1.42 представлена разработанная системная диаграмма решения проблемы создания ИСАКиУК кондитерской продукции.

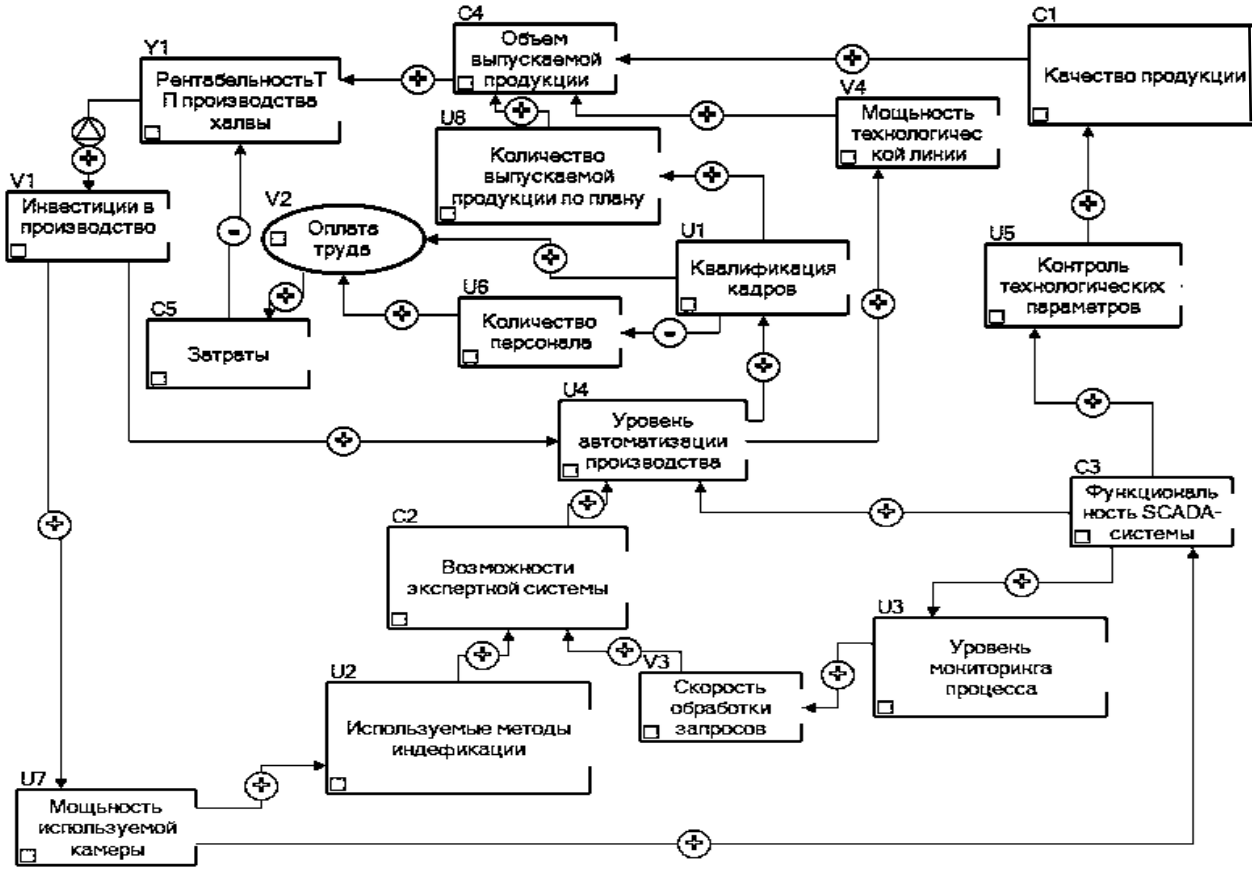


Рисунок - 1.42. Системная диаграмма решения проблемы создания ИСАКиУК кондитерской продукцией.

(Типы маркеров, указанные слева сверху над блоком: V – множество входных возмущающих параметров; U – множество входных управляемых параметров (варьируемых параметров); C – множество параметров состояния (показателей состоянии системы на некотором этапе управления); Y – множество выходных целевых параметров (реализуемых в виде критериев управления).

Системная диаграмма решения проблемы создания интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством производства кондитерской продукции включает следующие блоки- элементы: V1: Инвестиции в производство;V2: Оплата труда; U1: Квалификация кадров; U2: Используемые *методы контроля и индикации*; U3: Уровень мониторинга процесса; U4: *Уровень автоматизации производства*; U5: *Контроль технологических параметров и органолептических показателей качества*; U6: Количество персонала; U7: Мощность используемой видеокамеры; U8: Количество выпускаемой продукции по плану. C1: *Качество продукции*; C2: Возможности интеллектуальной автоматизированной системы; C3: Функциональность SCADA-системы; C4: Объем выпускаемой продукции; C5: Затраты; Y1: Рентабельность ТП производства конфет.

Контуры:

1. Y1 - V1 - U4 - U1 - V2 - C5 - Y1. С задержкой по времени. Компенсирующий. Повышение рентабельности зависит от инвестиций в производство, которые влияют на уровень автоматизации производства и квалификацию кадров, на основе которого рассчитывается оплата труда и затраты.
2. Y1 - V1 - U4 - U1 - U6 - V2 - C5 - Y1. С задержкой по времени. Усиливающий. Повышение рентабельности зависит от инвестиций в производство, которые влияют на количество персонала, на основе которого рассчитывается фонд оплаты труда и затраты.
3. Y1 - V1 - U4 - U1 - U8 - C4 - Y1. С задержкой по времени. Усиливающий.
4. Повышение рентабельности зависит от инвестиций в производство, которые влияют на количество выпускаемой продукции по плану, от которого зависит объем выпускаемой продукции.
5. Y1 - V1 - U4 - V4 - C4 - Y1. С задержкой по времени. Усиливающий.
6. Повышение рентабельности зависит от инвестиций в производство, которые влияют на мощность технологической линии, от которого зависит объем выпускаемой продукции.

7. Y1 - V1 - U7 - U2 - C2 - U4 - U1 - V2 - C5 - Y1. С задержкой по времени. Компенсирующий. Повышение рентабельности зависит от инвестиций в производство, которые влияют на уровень автоматизации и квалификацию кадров, на основе которого рассчитывается фонд оплаты труда и затраты.

8. Y1 - V1 - U7 - U2 - C2 - U4 - U1 - U6 - V2 - C5 - Y1. С задержкой по времени. Усиливающий. Повышение рентабельности зависит от инвестиций в производство и возможностей разрабатываемой интеллектуальной системы контроля и управления, которые влияют на уровень автоматизации и квалификацию кадров, на основе которого рассчитывается фонд оплаты труда и затраты.

9. Y1 - V1 - U7 - U2 - C2 - U4 - U1 - U8 - C4 - Y1. С задержкой по времени. Усиливающий. Повышение рентабельности зависит от инвестиций в производство и возможностей разрабатываемой интеллектуальной системы контроля и управления, которые влияют на количество выпускаемой продукции по плану, от которого зависит объем выпускаемой продукции.

10.Y1 - V1 - U7 - U2 - C2 - U4 - V4 - C4 - Y1. С задержкой по времени. Усиливающий. Повышение рентабельности зависит от инвестиций в производство и возможностей разрабатываемой интеллектуальной системы контроля и управления, которые влияют на мощность технологической линии, от которой зависит объем выпускаемой продукции.

11.Y1 - V1 - U7 - C3 - U3 - V3 - C2 - U4 - U1 - V2 - C5 - Y1. С задержкой по времени. Компенсирующий. Повышение рентабельности зависит от инвестиций в производство и функциональности SCADA-системы, которые влияют на квалификацию кадров, на основе которой рассчитывается фонд оплаты труда и затраты.

12. Y1 - V1 - U7 - C3 - U3 - V3 - C2 - U4 - U1 - U6 - V2 - C5 - Y1. С задержкой по времени. Усиливающий. Повышение рентабельности зависит от инвестиций в производство и функциональности SCADA-системы, которые влияют на количество персонала, на основе которого рассчитывается фонд оплаты труда и затраты.

13. Y1 - V1 - U7 - C3 - U3 - V3 - C2 - U4 - U1 - U8 - C4 - Y1. С задержкой по времени. Усиливающий. Повышение рентабельности зависит от инвестиций в производство и функциональности SCADA-системы, которые влияют на количество выпускаемой продукции по плану, от которого зависит объем выпускаемой продукции.

14. Y1 - V1 - U7 - C3 - U3 - V3 - C2 - U4 - V4 - C4 - Y1. С задержкой по времени. Усиливающий. Повышение рентабельности зависит от инвестиций в производство и функциональности SCADA-системы, которые влияют на мощность технологической линии, от которой зависит объем выпускаемой продукции.

15. Y1 - V1 - U7 - C3 - U4 - U1 - V2 - C5 - Y1. С задержкой по времени. Компенсирующий. Повышение рентабельности зависит от инвестиций в производство и уровня мониторинга, которые влияют на квалификацию кадров, на основе которой рассчитывается фонд оплаты труда и затраты.

16.Y1 - V1 - U7 - C3 - U4 - U1 - U6 - V2 - C5 - Y1. С задержкой по времени. Усиливающий. Повышение рентабельности зависит от инвестиций в производство и уровня мониторинга, которые влияют на количество персонала, на основе которого рассчитывается фонд оплаты труда и затраты.

17.Y1 - V1 - U7 - C3 - U4 - U1 - U8 - C4 - Y1. С задержкой по времени. Усиливающий. Повышение рентабельности зависит от инвестиций в производство и уровня мониторинга, которые влияют на объем выпускаемой продукции по плану, от которого зависит объем выпускаемой продукции.

18.Y1 - V1 - U7 - C3 - U4 - V4 - C4 - Y1. С задержкой по времени. Усиливающий. Повышение рентабельности зависит от инвестиций в производство и уровня мониторинга, которые влияют на мощность технологической линии, от которой зависит объем выпускаемой продукции.

19.Y1 - V1 - U7 - C3 - U5 - C1 - C4 - Y1. С задержкой по времени. Усиливающий. Повышение рентабельности зависит от инвестиций в производство и уровня автоматизации контроля технологических параметров, которые влияют на качество выпускаемой продукции.

1.5.3. Разработка концептуальной структурно- динамической модели системы контроля и управления качеством различной кондитерской продукции в процессе производства

На основании анализа разрабтанной системной диаграммы построена концептуальная структурно-динамическая модель системы документирования в теоретико-множественном представлении при разработке ИСАКиУК кондитерской продукции, которая состоит из операторов μ состояний (C) и операторов η целевых выходов/результатов (Y), где T – упорядоченное множество моментов времени t, определяемых C и Y [27].

Отражение:

$$\left.\begin{array}{l} \eta 1\text{: } \{C4;\ C5\}T1 \rightarrow Y1 \\ \mu 1\text{: } \{U5;\ C3\}T1 \rightarrow C1 \\ \mu 2\text{: } \{U2;\ V3;\ U3;\ U7;\ V1;\ C3\}T1 \rightarrow C2 \\ \mu 3\text{: } \{U7;\ V1\}T1 \rightarrow C3 \\ \mu 4\text{: } \{U8;\ U1;\ U4;\ V1;\ Y1;\ V4;\ C2;\ C3\}T1 \rightarrow C4 \\ \mu 5\text{: } \{V2;\ U6;\ U1;\ U4;\ V1;\ Y1;C2;\ C3\}T1 \rightarrow C5 \end{array}\right\} \quad (1.9)$$

где:

T1=Оперативный горизонт контроля и управления

T2=Тактический горизонт контроля и управления

На основании системной диаграммы и ее теоретико-множественного представления можно сформулировать следующие вывод.

Для повышения эффективности (рентабельности) технологического процесса производства кондитерской продукции необходимо: внедрение интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кондитерских изделий и увеличение функциональности обслуживающей SCADA-системы. За счет этого значительно увеличится уровень автоматизации. Это позволит увеличить объем выпускаемой продукции и сократить затраты сырья, материалов, а также значительно снизить брак готовых кондитерских изделий.

1.6. Разработка стратегической карты создания ИСАКиУК кондитерской продукции

Стратегическая карта – это диаграмма, отображающая распределенные по аспектам цели и связи между ними, а также критерии их достижения [25]. Стратегические карты предназначаются для стратегического управления: в нашем случае, научным исследованием по созданию ИСАКиУК кондитерской продукции в процессе ее производства. Стратегические карты призваны сосредоточить внимание на наиболее важных сторонах деятельности при создании этой ИСАКиУ. Для разработки стратегической карты важно знать основную цель исследуемого производства, его видение и стратегию развития. На рисунке 1.43 представлена разработанная стратегическая карта создания интеллектуальной системы автоматического контроля и управления качеством кондитерской продукции в процессе ее производства.

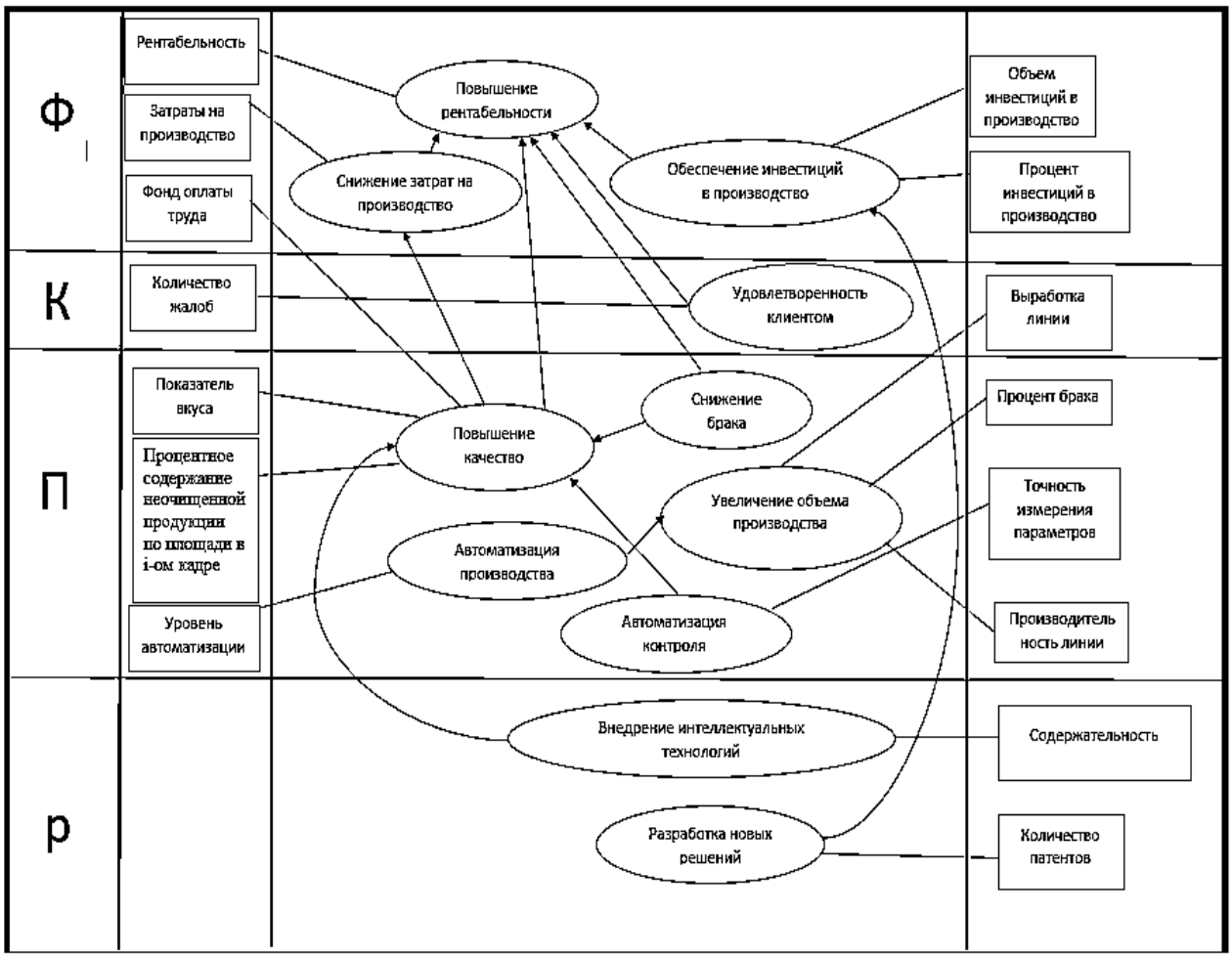


Рисунок 1.43 - Стратегическая карта создания ИАСКиУК

Построение стратегической карты сводилось к распределению основных целей исследования по четырем аспектам сбалансированной системы показателей, а также к определению критериев достижения этих целей с указанием их причинно-следственной связи.

Аспекты в стратегической карте отображаются в виде горизонтальных дорожек. При разработке карты использовались следующие аспекты:

- Финансы (Ф) – в данном аспекте отражаются все цели и критерии, связанные с финансами (например, цель «Повышение прибыли», критерий «Увеличение продаж» и др.);
- Клиенты (К) – в данном аспекте отражаются все цели и критерии, связанные с клиентами при реализации выпускаемой продукции;
- Внутренние бизнес-процессы (П) – в данном аспекте отражаются все цели и критерии, связанные с улучшением основных внутренних бизнес-процессов производства кондитерской продукции, направленных на реализацию финансовых и клиентских целей;
- Обучение и развитие (Р) – в данном аспекте отражаются все цели и критерии, связанные с обучением и развитием сотрудников, связанных с производством исследуемых кондитерских изделий.

Для лучшего понимания стратегической карты, все критерии, отображенные на стратегической карте выражены с помощью математических постановок.

1. Затраты на производство $Z_{\text{т}} = Z_c + Z_{\text{а}} + Z_{\text{нр}} \leq P$

   Где: Z_c – затраты на сырье, $Z_{\text{а}}$ – затраты на развитие производства, $Z_{\text{нр}}$ – затраты на электроэнергию, Р – бюджет на производство.

2. Фонд оплаты труда $Z_{\text{т}} = c(l) \leq ConstR$

   Где: с - зарплата одного сотрудника, l – количество сотрудников, ConstR-бюджет выделенный на оплату труда.

3. Рентабельность производства $R = \frac{P}{C} \rightarrow max$

   Где: R – *прибыль от реализации продукции,* C – полная себестоимость.

4. Объем инвестиций в производство $V = \frac{X_t}{r} \rightarrow max$

Где: X_t – коэффициент обеспеченности предстоящей инвестиционной деятельности предприятия и наличия у него инвестиционных ресурсов,

r – прогнозируемый полный объем инвестиций.

5. Процент инвестиций в производство $Y = \frac{U}{Z} * 100 \rightarrow max$

Где: U - инвестиционная прибыль, Z – сумма вложений.

6. Рост плана $K(t) = \frac{\Delta(F_н - F_п)}{12} \rightarrow max$

где: $F_н$ – объем производства за месяц этого года,

$F_п$ – объем производства за месяц предыдущего года.

7. Процент брака $K_{бр} = \frac{V_{деф}}{V_{пр}} * 100\% \rightarrow min$

где: $V_{деф}$ – количество изделий с выявленными дефектами, несоответствиями за оцениваемый период,

$V_{пр}$– количество произведенной в потоке продукции, шт.

8. Точность измерения технологических параметров $A = a \pm \Delta a,$

где: a - результат измерения, Δ-погрешность измерения,

Аз-заданная величина.

9. Выработка линии $H_в = \frac{T_{см} - (T_{пз} - T_{обс} + T_{отл})}{T_{оп}} \rightarrow max,$

где: $H_в$ - норма выработки; $T_{см}$ - продолжительность одной смены, мин; $T_{пз}$ - время на подготовительный этап, мин; $T_{обс}$ - время, требуемое на обслуживание рабочего места, мин; $T_{отл}$ - время, затраченное на личные надобности, мин; $T_{оп}$ - рассчитанное время на единицу продукции, мин.

10. Содержание неочищенной продукции по площади в i-ом кадре, в %

$X_i = \frac{100 \cdot \sum_{j=1}^{k} M_j}{M_2}$

где: Mj – площадь j-ой единицы из k единиц неочищенной продукции,

M_2 – площадь очищенной продукции, k – количество единиц неочищенной продукции, j - индекс единицы неочищенной продукции.

11. Уровень автоматизации $Уn = \frac{\sum P_a ПМ}{\sum P_a КПМ+Рм+Рр} \rightarrow max$

где: $Р_{м.р.}$ – число рабочих, выполняющих работу при помощи ручного механизированного инструмента; $Р_р$ – число рабочих, выполняющих работу вручную; П – коэффициент производительности оборудования,

М – коэффициент обслуживания, зависящий от количества единиц оборудования; $Р_{м.р.}$ – число рабочих.

12. Содержательность базы знаний *C=S*K*

где: *S*-количество статей, индексированных в *Scopus; K* – количество статей в *РИНЦ.*

13. Количество публикаций за период $i = \overline{1,I}$ если $V_i \geq 0.1$

Где: V_i- *ИНПАК* - фактор журнала публикации.

1.7. Выводы по 1 главе

Первая глава посвящена методологическим основам анализа технологических процессов производства кондитерской продукции различной структуры и различных типов как объектов автоматизации.

В рамках этой главы:

- Выявлены, обобщены , систематизированы и проанализированы особенности ТП производства кондитерской продукции разной структуры (твердой, желеобразной, аморфной и т.д.). Обоснован выбор наиболее важных для кондитерской промышленности ТП производства различных типов изделий отличительной структуры.

- Проведены исследования и анализ разнообразных ТП кондитерского производства (шоколада; глазированных помадных и пралиновых конфет; сбивных конфет; халвы; мармелада; карамели; зефира; козинак; драже; ириса) как объектов автоматизации, дана характеристика основных стадий и материальных потоков при производстве различной кондитерской продукции.

- Проведена систематизация основных операций разнообразных ТП производства кондитерской продукции и выбраны факторы, определяющие эффективность этих операций, всех стадий и каждого производства в целом.

- Проведен всесторонний анализ технологических и режимных параметров, оказывающих влияние на качество сырья, полуфабрикатов и готовой пищевой продукции. На основании полученных результатов разработаны функционально-структурные схемы (ФСС) влияния факторов исходного сырья, промежуточных операций на качество готовой кондитерской продукции в процессе производства.

- Выявлены необходимые точки контроля и регулирования разнообразных ТП производства кондитерской продукции (шоколада; глазированных помадных и пралиновых конфет; сбивных конфет; халвы; мармелада; карамели; зефира; козинак; драже; ириса) на всех этапах.

- Установлено, что применяемые в настоящее время методы и средства оценки органолептических показателей качества субъективны и определяются сенсорными методами экспертами- технологами путем дегустационного контроля. Отмечены недостатки органолептического контроля.

- Поскольку состояние в кондитерской промышленности России требует цифровой трансформации, для решения этой важной проблемы была поставлена задача разработки методов и средств автоматизации контроля в потоке органолептических показателей. Проведены экспериментальные исследования и построены органолептические профили всех исследуемых кондитерских изделий.

- Осуществлен системный анализ и сформулирована проблема данного исследования. Разработана структура целей, создана системная диаграмма решения проблемы, разработана концептуальная структурно- динамическая модель системы контроля и управления качеством различной кондитерской продукции в процессе производства.

- Поставлена задача цифровой трансформации отраслей кондитерской промышленности за счет разработки и внедрения нового поколения интеллектуальных систем автоматического контроля и управления качеством кондитерской продукции. Разработана стратегическая карта создания такой интеллектуальной системы.

1.8. Задачи исследования

1. Анализ и определение органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий, подлежащих автоматическому контролю на каждой стадии производства кондитерской продукции.
2. Разработка структуры целей диссертации, выявление основного спектра решаемых задач, создание системной диаграммы решения проблемы, разработка концептуальной структурно- динамической модели создания интеллектуальной системы автоматического контроля и управления качеством кондитерской продукции в процессе производства.
3. Выявление оптимальных методов, алгоритмов и технологий искусственного интеллекта для их использования при разработке интеллектуальной системы автоматического контроля и управления (ИСАКиУ) качеством кондитерской продукции.
4. Разработка инструментария для автоматического контроля в режиме реального времени органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых кондитерских изделий.
5. Проведение экспериментальных исследований и создание на этой базе структурно- параметрических, математических, ситуационных и имитационных моделей ТП производства кондитерской продукции различной структуры для прогнозирования и управления качеством этой продукции на всех стадиях производства.

6. Цифровизация ТП производства кондитерской продукции с использованием цифровых двойников (ЦД). Методология создания ЦД с разработкой необходимых для их создания инструментальных средств.

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

8. Разработка концепции построения интеллектуальных систем автоматического контроля и управления качеством (ИСАКиУК) разнообразной кондитерской продукции на базе гибридных интеллектуальных методов и технологий. Разработка типовой ИСАКиУК кондитерской продукции.

9. Разработка информационного, математического и программного обеспечения ИСАКиУК кондитерской продукции.

10. Интеграция существующих АСУТП с новыми решениями оптимизационных задач на основе использования предлагаемых средств контроля и управления для внедрения в линии производства кондитерской продукции.

11. Внедрение результатов исследования в линии производства кондитерской продукции, учебный процесс и научные исследования.

ГЛАВА 2. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ, АЛГОРИТМОВ И ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ИАСКиУ КАЧЕСТВОМ КОНДИТЕРСКОЙ ПРОДУКЦИИ

2.1. Проблемы контроля и управления технологическими процессами производства кондитерских изделий и пути их преодоления

Кондитерская продукция представляет собой сложные многокомпонентные смеси, состояние которой зависит от многих факторов (качества сырья, технологических параметров, режимов работы оборудования, реологических, структурно- механических и органолептических свойств, квалификации экспертов и работников кондитерских фабрик, типов используемого оборудования и т.д.). Следует отметить, что в формировании показателей качества готовой кондитерской продукции, кроме отмеченных факторов, большое значение имеют также и материальные потоки. Все это вызывает колебания параметров ТП производства кондитерских изделий.

Изучение особенностей ТП этих производств показало, что они имеют неустановившиеся режимы с периодической повторяемостью разных типов операций, а используемое оборудование (веечные машины, просеиватели, сепараторы, дозаторы, молотковые мельницы, обкаточные машины, охлаждающие, темперирующие, конширующие машины, формующе-заверточные агрегаты, установки обжаривания и др.) имеют достаточно однородные установившиеся режимы.

Проблемами управления ТП производства кондитерской продукции также являются: необходимость учета большого числа имеющихся критериев качества; взаимосвязанность этих критериев, целей и других элементов процесса производства кондитерской продукции; наличие несравнимых альтернативных решений, имеющих существенные различия в плане функциональных характеристик. Между стадиями производства прослеживается большое количество взаимосвязей. Указанные обстоятельства являются важными причинами сложности принятия решения.

Анализ существующих производств, проведенный на высокоавтоматизированных кондитерских предприятиях России показал, что решение этих проблем непосредственно связано с изучением различных методов, алгоритмов и классов существующих АСУ, а также интеллектуальных систем и технологий для оценки возможности их практического применения при автоматизации контроля и управления процессами производства кондитерской продукции.

2.2. Оценка возможностей практического применения различных классических методов, алгоритмов и классов автоматизированных систем для управления ТП производства кондитерской продукции

На многих предприятиях кондитерской промышленности более 90% контуров автоматического управления используют ПИД законы регулирования [5, 53, 211, 251]. Столь широкое распространение эти законы регулирования получили потому, что их внедрение не требует наличия математической модели процесса. Они эффективны для управления производственными процессами, математические модели которых сложно разработать. ПИД-контроллеры используют на основе классической теории управления [118, 197]. Но эти контроллеры имеют и недостатки. Если процессы имеют переменные технологические и режимные параметры, переменные непредсказуемые возмущения, временные задержки и существенные нелинейности, ПИД-контроллеры чувствительны к возмущениям, требуют подстройки каждый раз, когда изменяется динамика процесса и из- за этого не могут создать оптимальные условия функционирования системы управления [84, 103, 183]. Поэтому дальнейшим шагом развития адаптивных и самонастраивающихся систем управления явилась разработка экстремальных регуляторов [88, 177]. Однако, несмотря на интенсивные исследования по повышению эффективности их работы, эти системы не получили широкого распространения на действующих промышленных объектах, поскольку при их исследовании нарушался нормальный режим работы существующих производственных линий, требовалась дополнительная затрата энергии на поиски оптимальных решений [148, 176, 202].

Нами проведен анализ оценки возможностей практического применения беспоисковых самонастраивающихся регуляторов, являющихся основным классом адаптивных систем, для внедрения их на линиях производства различной кондитерской продукции. Было выяснено, что при практическом использовании данных систем адаптивного управления в производственных линиях кондитерских предприятий получено значительное число критических оценок специалистов этих фабрик. Обзор и анализ традиционных методов адаптивного управления, подробно описанный в статьях [25 - 27, 34] показал, что практическое их использование в реальных условиях производства кондитерских изделий для управления даже одномерными объектами при неконтролируемых возмущениях становится затруднительным.

Изучение возможностей практического применения различных классических методов и классов АСУ для их использования в многомерных, многоэтапных, многокритериальных динамических объектах, какими являются линии производства кондитерской продукции, показало, что наиболее эффективными являются системы, основанные на искусственном интеллекте [4, 15, 61, 75, 258, 280, 284]. Поэтому были проведены исследования перспектив использования интеллектуальных систем и технологий. На рисунке 2.1 показан подход к решению задач автоматизации на основе использования этих систем и средств [31].

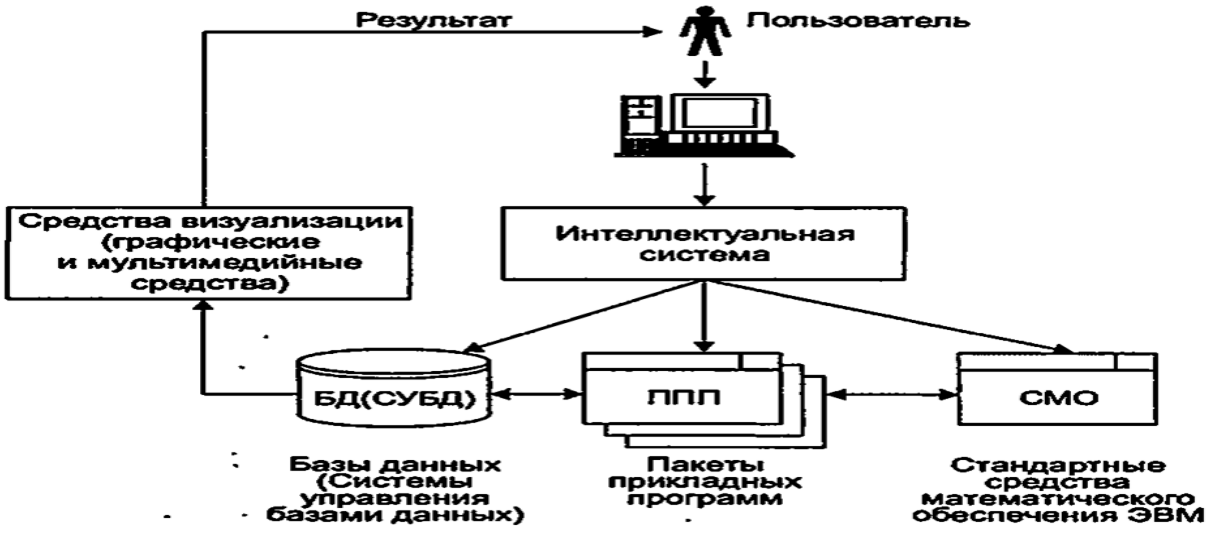


Рисунок 2.1 - Подход к решению задач автоматизации ТП кондитерских производств на основе использования интеллектуальных систем

На основании анализа полученных результатов была поставлена задача детального изучения методов и технологий искусственного интеллекта для поиска решения вопросов автоматизации контроля и управления качеством производства кондитерской продукции.

2.3. Анализ особенностей использования методов искусственного интеллекта в решении задач автоматизации контроля и управления качеством производства кондитерской продукции

2.3.1. Общая характеристика методов искусственного интеллекта

Во многих областях науки и техники за последнее десятилетие разработано множество систем, которые принято называть интеллектуальными. Области их применения охватывают практически все сферы человеческой деятельности, связанные с обработкой информации [1, 4, 6 - 8, 12 – 16, 20 – 27, 39, 44-47, 52, 53 - 55, 165, 258 и др.]. При этом под интеллектуальной системой (ИС) понимают адаптивную систему, представляющую собой аппаратно-программный информационный комплекс, позволяющий строить программы по решению поставленных перед ними задач на основании конкретной ситуации, складывающейся на данный момент в окружающей их среде [71].

Существует несколько схем классификации интеллектуальных систем. Авторами работ [12, 20, 84, 141, 142, 144] предлагается следующая классификация интеллектуальных систем, представленная на рисунке 2.2.

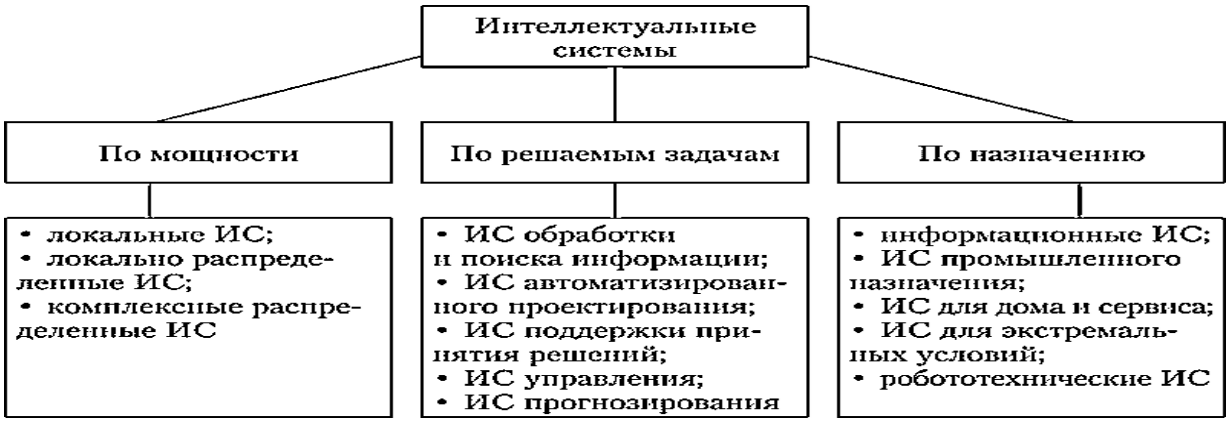


Рисунок 2.2 - Классификация интеллектуальных систем (1 вариант)

На рисунке 2.3 представлена еще одна, на наш взгляд, более эффективная классификация интеллектуальных систем, в которую входят: интеллектуальные информационные системы (ИИС); расчетно- логические; гибридные; рефлекторные; нейронные; генетические и мультиагентные системы [61].

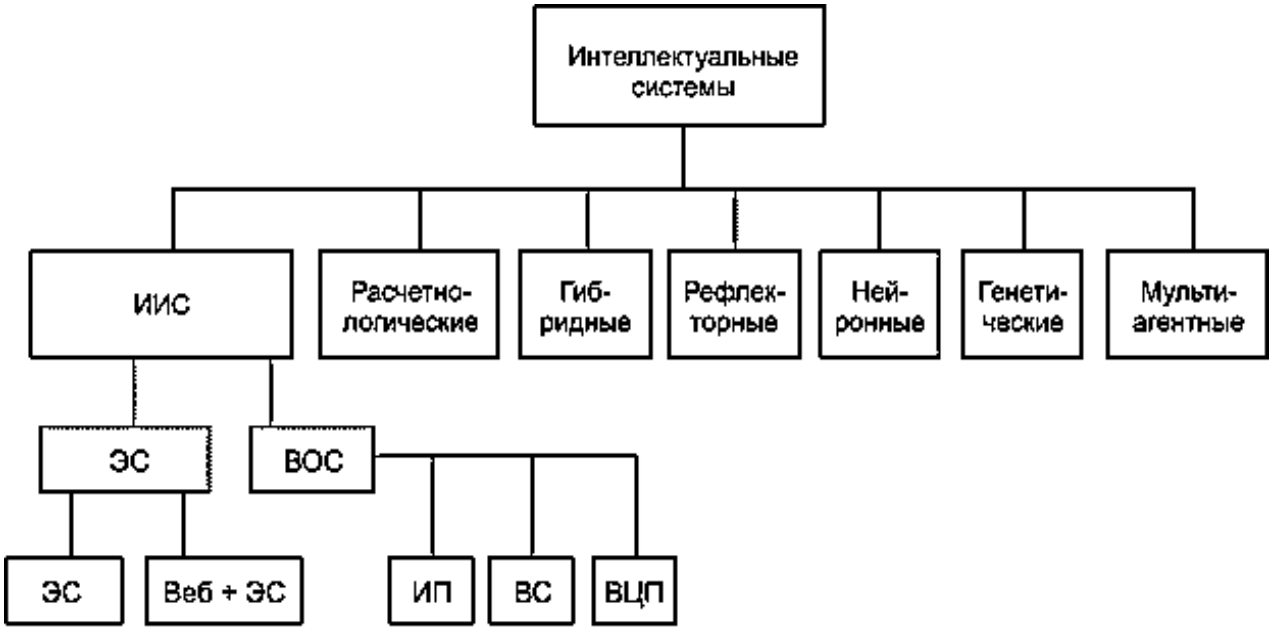


Рисунок 2.3 - Классификация интеллектуальных систем (2 вариант)

Согласно представленной схеме основными видами интеллектуальных систем являются:

1. Расчетно-логическая система

К расчетно-логическим системам относят системы, способные решать управленческие и проектные задачи по декларативным описаниям условий [12, 61]. Данные системы способны автоматически строить математическую модель задачи и автоматически синтезировать вычислительные алгоритмы по формулировке задачи. Эти свойства реализуются благодаря наличию базы знаний в виде функциональной семантической сети и компонентов дедуктивного вывода и планирования. Эти системы дают возможность конечному пользователю решать на компьютере свои задачи, давая их содержательные описания и определяя значения исходных данных без программирования процесса решения задачи. Эта технология пригодна для хорошо

структурированных предметных областей. Общая схема функционирования расчетно-логической системы показана на рисунке 2.4.

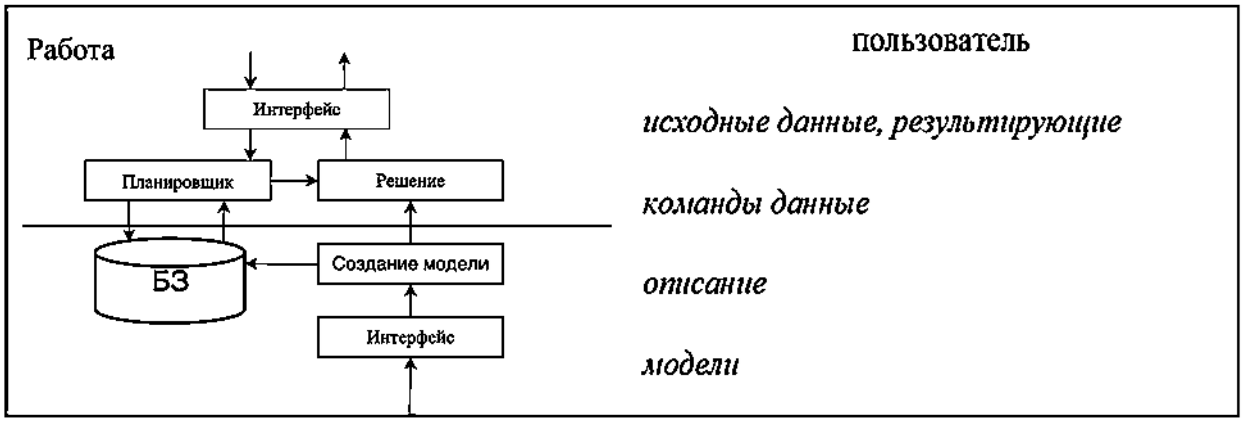


Рисунок 2.4 - Схема расчетно-логической системы

Функционирование расчетно-логической системы складывается из этапов создания и работы этой системы. На этапе создания ИТ-специалистом формируется описание предметной области и в виде некоторой аннотации через интерфейс передается в модуль создания модели, который трансформирует полученное описание в некоторую БЗ. Для представления знаний используется функциональная семантическая сеть, которая может формироваться самим пользователем с помощью специальных входных языков [61].

На этапе работы пользователь формирует запрос, на решение некоторой задачи и передает исходные данные для этого. Планировщик на основе модели предметной области формирует программу для решения задачи, а модуль решения эту программы выполняет. Результаты решения передаются пользователю. Для упрощения работы интерфейс может быть выполнен с использованием лингвистического процессора [165]. Ключевым блоком является планировщик решения прикладных задач.

2. Рефлекторная система – одна из видов интеллектуальных систем.

Это система, которая формирует вырабатываемые специальными алгоритмами ответные реакции на различные комбинации входных воздействий [54]. Рефлекторные программные системы применяются к следующим задачам: естественно-языковой доступ к базам данных; оценки инвестиционных

предложений; оценки и прогнозирования влияния вредных веществ на здоровье населения; прогнозирования результатов спортивных игр и др. [4, 15, 61, 75, 112].

3. Интеллектуальная информационная система

Интеллектуальная информационная система (ИИС, intelligent system) — это система, основанная на знаниях [60, 61]. ИИС являются результатом развития обычных информационных систем (ИС), которые сосредоточили в себе наиболее наукоемкие технологии с высоким уровнем автоматизации не только процессов подготовки информации для принятия решений, но и самих процессов выработки вариантов решений, опирающихся на полученные ИС данные [61, 66]. В отличие от обычных аналитических и статистических моделей, ИИС позволяет получить решение трудно формализуемых слабо структурированных задач. Направленность ИИС на решение слабоструктурированных, плохо формализуемых задач расширяет область применения ИИС.

Интеллектуальные информационные системы можно классифицировать по разным основаниям (рисунок 2.5): по области применения; по степени интеграции; по способу и оперативности взаимодействия с объектом; по адаптивности; по модели представления знаний.



Рисунок 2.5 - Классификация интеллектуальных информационных систем

В ИИС присутствуют средства естественно- языкового интерфейса. Следовательно, появляется возможность непосредственного применения ИИС в

качестве средств поддержки процессов анализа, оценки и принятия решений. Возможность использования информации, которая явно не хранится, а выводится из имеющихся в базе данных, позволяет уменьшить объемы хранимой актуальной информации при сохранении доступной пользователю информации.

ИИС способны диагностировать состояние ТП, цехов, предприятий, обеспечивать выбор оптимальных решений по повышению эффективности производства выпускаемой ими продукции. Примерами таких систем являются наиболее распространенные экспертные системы, системы интеллектуального управления, интеллектуальные базы данных, системы когнитивной графики, самообучающиеся системы, адаптивные информационные системы и др.

4. Гибридная интеллектуальная система (ГИС)

Под гибридной интеллектуальной системой принято понимать систему, в которой для решения задач управления и проектирования применяется не один, а нескольких интеллектуальных методов, как правило, из различных классов [4]. Таким образом, ГИС — это технология искусственного интеллекта (ИИ), включающего в себя несколько основных направлений, таких как: аналитические модели; экспертные системы (ЭС); искусственные нейронные сети (ИНС); системы нечеткой логики (СНЛ); генетические алгоритмы (ГА); мультиагентные имитационные модели и системы. И др.

В настоящее время активно развиваются направления, являющиеся сочетанием перечисленных направлений, например, генетические нейронные системы, экспертные нейронные системы, генетические экспертные системы и т.п.

5. Генетические алгоритмы

Генетический алгоритм (ГА) (англ. genetic algorithm) — это эвристический алгоритм поиска, используемый для решения задач оптимизации и моделирования путём последовательного подбора, комбинирования и вариации искомых параметров [14, 84]. Отличительной особенностью генетического алгоритма является акцент на использование оператора «скрещивания», который производит операцию рекомбинации решений-кандидатов, роль которой

аналогична роли скрещивания в живой природе. ГА служат для решение задач оптимизации и моделирования путём случайного подбора, комбинирования и вариации искомых параметров.

ГА предназначен для поиска экстремума сложных функций. Сложность оптимизируемой функции определяется как количеством переменных, по которым ведется оптимизация, так и наличием локальных экстремумов. При этом найденное решение в достаточной степени удовлетворяет смыслу решаемой задачи. Поэтому сферы применения ГА разнообразны: аппроксимация функций и регрессионный анализ; поиск кратчайших путей; комбинаторная оптимизация; задачи автоматического программирования и тестирования программ; техническое проектирование; задачи выбора структуры и параметров искусственных нейронных сетей; оптимизация движения робота, в том числе обучение робота ходьбе.

Происходящие процессы в промышленности требуют постоянной оптимизации, а ГА, имеющие в своей основе ее инструменты, являются перспективными системами для автоматизации ТП производства кондитерской продукции.

6. Нейронные сети

Под нейросетью понимается система вычислительных единиц — искусственных нейронов, функционирующих подобно нейронам мозга живых существ (рисунок 2.6). Как и биологические, искусственные нейроны получают и обрабатывают информацию, после чего передают ее дальше. Взаимодействуя друг с другом, нейроны решают сложные задачи. Модель НС состоит из одного или нескольких слоев искусственных нейронов, которые имитируют работу своих биологических аналогов (нервных клеток) [4, 7, 8, 11 -13, 21, 60, 61, 83, 85]. Нейросетевые технологии являются одним из наиболее перспективных направлений развития искусственного интеллекта [61, 113, 114]. Они представляют собой математический аппарат, позволяющий воспроизводить достаточно сложные зависимости. Их применение целесообразно для решения

сложно формализуемых задач, в которых входные данные слабо взаимосвязаны с выходными.

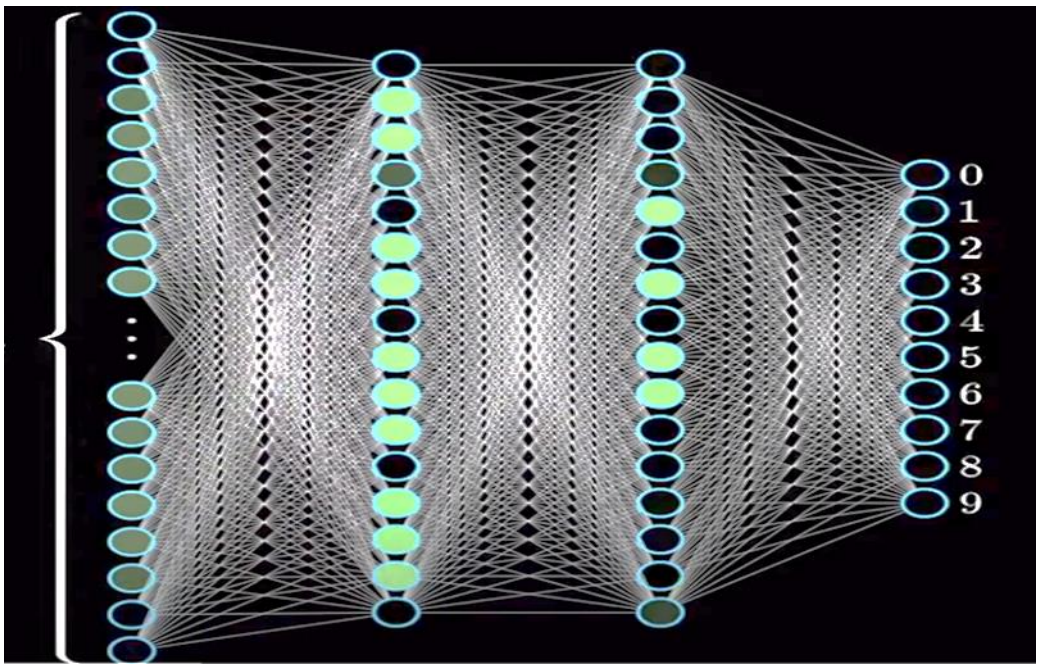


Рисунок 2.6 – Нейронные сети

Важным свойством НС при решении прикладных задач является способность к обучению и к обобщению полученных знаний. Натренированная на ограниченном множестве обучающих выборок, нейронная сеть обобщает накопленную информацию и вырабатывает ожидаемую реакцию применительно к данным, не обрабатывавшимся в процессе обучения. На сегодняшний день аппараты искусственных НС и методы их применения активно развиваются и совершенствуются [21, 24, 25, 44, 76, 83, 198, 220, 244, 247].

7. Мультиагентные системы

В условиях неопределенности поведения ТП производства кондитерской продукции для идентификации и прогнозирования различных ситуаций в больших системах эффективным является использование агентно-ориентированной имитации взаимодействия активных элементов – интеллектуальных агентов, изменяющих свои свойства и поведение в зависимости от состояния других элементов и среды [83, 90,127].

Базовым понятием, лежащим в основе мультиагентных систем является понятие агента. Под интеллектуальным агентом понимается активный элемент, моделирующий поведение человека в процессах обработки информации и принятия решения. В общем смысле это любой объект, способный действовать и воспринимать. В соответствии с этим, каждому агенту присущи наборы сенсоров – то, с помощью чего агент воспринимает, и актуаторов – то, чем агент воздействует. Агент может воздействовать на других агентов и внешнюю среду. На все, что окружает агента [126 - 129].

Для идентификации и прогнозирования различных ситуаций в больших системах предлагается агентно-ориентированная имитация взаимодействия активных элементов – интеллектуальных агентов, изменяющих свои свойства и поведение в зависимости от состояния других элементов и среды.

Проведенный нами анализ интеллектуальных систем показал, что кроме описанных выше систем и технологий, активно развиваются также следующие высокоэффективные взаимосвязанные ИС: робототехника, системы компьютерного зрения, экспертные системы, технологии виртуальной и дополненной реальностей, технологии интернет вещей, цифровые двойники и др. [4, 15, 25, 27, 44, 52, 61, 67 – 69 и др.]. Таким образом, одним из наиболее важных и перспективных направлений использования искусственного интеллекта для создания интеллектуальных систем автоматического контроля и управления качеством кондитерской продукции являются гибридные интеллектуальные системы.

2.3.2. Интеллектуальные информационные системы как важнейшее направление искусственного интеллекта. Особенности. Признаки. Функции. Специфика использования.

Как было отмечено в п.2.3.1, ИИС являются разновидностью *интеллектуальных систем*, основанных на знаниях, которые сосредоточили в себе наиболее наукоемкие технологии с высоким уровнем автоматизации не только процессов подготовки информации для поддержки процессов анализа, оценки и принятия

решений, но и самих процессов выработки вариантов управления, опирающихся на полученные ИИС данные.

ИИС являются синтезом экспертных и информационных систем [61, 113, 114, 141, 142 - 144]. Они вырабатывают информацию, которая принимается человеком к сведению и не превращается немедленно в серию конкретных действий. Эти системы обладают более высокой степенью интеллекта, так как для них характерна обработка знаний, а не данных. ИИС = ИС + БЗ.

Обязательными структурными компонентами ИИС являются: база данных, база знаний, интерпретатор правил, машина вывода, компоненты объяснения и естественно языкового интерфейса, обеспечивающие связный диалог пользователя и системы с попеременным переходом инициативы [60, 61].

Цель построения интеллектуальных информационных систем – выявление, исследование и применение знаний высококвалифицированных экспертов для решения сложных задач, возникающих на практике. При построении таких систем, основанных на знаниях (СОЗ), используются знания, накопленные экспертами в виде конкретных правил решения тех или иных задач. Осуществляется разработка моделей представления, извлечения и структурирования данных, а также изучаются проблемы создания баз знаний (БЗ), образующих ядро СОЗ.

В процессе развития ИТ, все больше проявлялась потребность в системах, не только представляющих информацию, но и выполняющих ее предварительный анализ, способных давать некоторые советы и рекомендации, осуществлять прогнозирование развития ситуаций, отбирать наиболее перспективные альтернативы решений, взяв на себя значительную часть рутинных операций, а также функции предварительного анализа, оценок и управления [31 – 34]. Важнейшей особенностью ИИС является работа в реальном масштабе времени.

Функции интеллектуализации информационных систем:

1. Хранение больших объемов информации.
2. Быстрый поиск.
3. Добавление, удаление, изменение хранимой информации.

4. Вывод информации в удобном виде.

Специфика использования: использование ИИТ в реальной практике подразумевает учет специфики проблемной области, которая может характеризоваться следующим набором признаков: качество и оперативность принятия решений; нечеткость целей; множественность взаимовлияющих друг на друга факторов; слабая формализуемость, уникальность ситуаций; представление информации в не явном виде. И др.

ИИТ перспективно использовать при создании информационных систем и технологий, повышающих эффективность управления, позволяющих принимать решения в условиях, связанных с возникновением проблемных ситуаций.

Задачи, решаемые ИИС.

ИИС можно рассматривать и с точки зрения решаемой задачи. В этом случае можно выделить *системы управления, системы анализа и прогнозирования управленческой деятельности, справочные системы, системы распознавания и системы создания ИИС* [61, 84, 88]:

- *Системы управления* поддерживают определенный режим деятельности. Такого рода ИИС осуществляют управление поведением сложных систем в соответствии с заданными функциями.

- *Анализ и прогнозирование управленческой деятельности* осуществляется на основе использования аппарата нейронных сетей, программных средств динамического планирования с применением Case- технологий, а также на основе баз знаний (БЗ) прецедентов. К решаемым ИИС задачам, также относятся справочные системы, системы распознавания и системы создания ИИС.

На основе анализа научно – технической литературы и полученных результатов исследования была составлена, кроме отмеченных выше, следующая дополнительная классификация задач, решаемых ИИС:

- Интерпретация данных (процесс определения смысла данных).
- Диагностика (процесс обнаружение неисправности некоторой системы, т.е. отклонение от нормы.

- Мониторинг. Основная задача мониторинга — непрерывная интерпретация данных в реальном масштабе времени и сигнализация о выходе тех или иных параметров за допустимые пределы.
- Проектирование. Проектирование состоит в подготовке спецификаций (чертежи, пояснительная записка и др.) на создание «объектов» с заранее определёнными свойствами.
- Прогнозирование. Прогнозирование позволяет предсказывать последствия некоторых событий на основании анализа имеющихся данных. В прогнозирующей системе обычно используется параметрическая динамическая модель, в которой значения параметров «подгоняются» под заданную ситуацию. Выводимые из этой модели следствия составляют основу для прогнозов.
- Планирование. Под планированием понимается нахождение планов действий, способных выполнять некоторые функции.
- Обучение. Под обучением понимается использование компьютера для обучения какой-то дисциплине или предмету. Системы обучения диагностируют ошибки с помощью ЭВМ и подсказывают правильные решения.
- Поддержка принятия решений— это совокупность процедур, обеспечивающая лицо, принимающее решения, необходимой информацией и рекомендациями, облегчающие процесс принятия решения. Эти ИИС помогают специалистам выбрать нужную альтернативу среди множества при принятии решений.

В общем случае все системы, основанные на знаниях, можно подразделить на системы, решающие задачи анализа, и на системы, решающие задачи синтеза. Основное отличие задач анализа от задач синтеза заключается в том, что если в задачах анализа множество решений может быть перечислено и включено в систему, то в задачах синтеза множество решений потенциально не ограничено и строится из решений проблем. Задачами анализа являются: интерпретация данных, диагностика, поддержка принятия решения; к задачам синтеза относятся проектирование, планирование, управление. Комбинированные задачи – это задачи обучения, мониторинга и управления.

2.3.3. Перспективы использования гибридных интеллектуальных технологий и систем в решении задач цифровизации кондитерской промышленности

Проведенный обзор и анализ интеллектуальных технологий (пп. 2.3.1 – 2.3.2) позволили выделить 8 базовых наиболее перспективных интеллектуальных технологий для использования их в решении создания интеллектуальной системы автоматизации контроля и управления качеством производства кондитерской продукции. Это:

- Нейросетевые технологии и системы управления
- Системы компьютерного зрения
- Мультиагентное имитационное моделирование
- Технологии виртуальной и дополненной реальностей
- Цифровые двойники
- Технологии промышленного интернета вещей
- Экспертные системы

I. Нейросетевые системы управления относятся к классу нелинейных динамических систем. Это частный случай интеллектуального управления, использующий искусственное управление динамическими объектами. Как показали исследования [25 - 59], нейронные сети (НС) обладают рядом уникальных свойств, которые делают их мощным инструментом для создания интеллектуальных систем контроля и управления: способность к обучению на примерах и обобщению данных. Известны многочисленные примеры их практического применения для контроля и управление различными объектами [7, 8, 11, 12, 133, 134, 204, 221, 245, 246]. НС не программируются, они обучаются.

Возможность обучения — одно из главных преимуществ нейронных сетей перед традиционными алгоритмами. Процесс обучения нейросети показан на рисунке 2.7. Технически обучение заключается в нахождении коэффициентов связей (весомости) между нейронами.

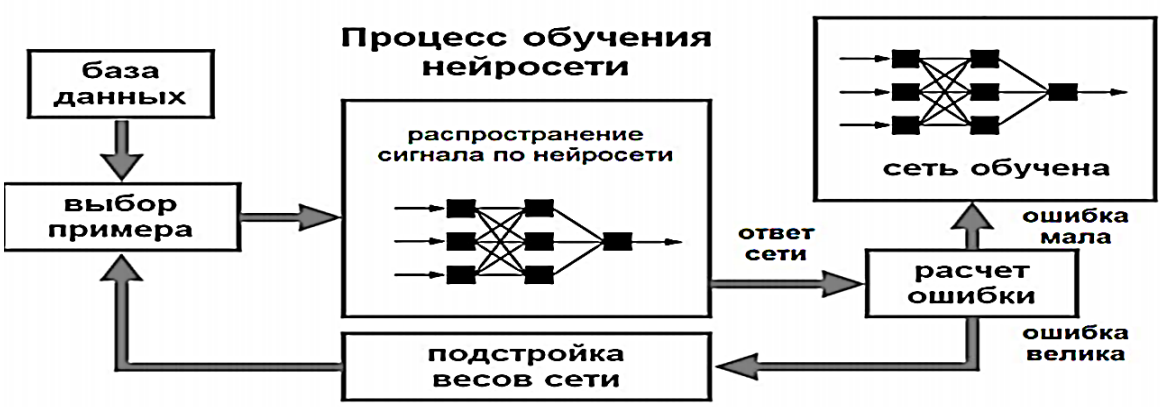


Рисунок 2.7 - Обучение нейронной сети

В процессе обучения нейронная сеть способна выявлять сложные зависимости между входными данными и выходными, а также выполнять обобщение [12, 25, 44, 61, 83, 85, 109, 114, 130, 220, 244, 247].

Нейросетевые системы управления реализуют функцию адаптивного регулятора нелинейного многосвязного объекта. Выбор конкретного подхода к обучению сети (on-line или off-line) зависит от специфики задачи и определяет конкретный вид алгоритма обучения сети (беспоисковые /поисковые схемы, глобальная/локальная оптимизация и т. д.).

Как показали проведенные нами исследования, использование нейросетей в системах контроля и управления объектами кондитерского производства с применением обучаемых многослойных нейросетей в настоящее время остается по-прежнему актуальным [25, 37, 61, 166]. Активно начались исследования по применению многослойных сетей для управления динамическими объектами. Вычислительные элементы, из которых состоит искусственная НС, являются нелинейными преобразователями. Такие свойства нейронных сетей делают возможным нелинейное преобразование данных, что, в свою очередь, позволяет реализовать новые нелинейные схемы управления. Искусственные нейронные сети (ИНС) способны при отсутствии какого-либо описания объекта управления, лишь по его входным и выходным сигналам моделировать поведение объекта и решать оптимизационные задачи. Кроме того, ИНС обладают такими достоин-

ствами, как высокое быстродействие, относительно небольшие затраты на разработку. Они имеют небольшое время принятия решения, что нередко делает их привлекательными для использования. Обученная ИНС - информационная система, работающая в режиме реального времени с базой знаний, хранящей базу правил, и автоматическим выводом решений. Особенностью системы управления с ИНС является то, что знания в ИНС распределены по всей сети в виде связей и характеристик нейронов и представлены в явной форме. ИНС способна работать от сигналов датчиков и с нечеткой информацией.

Можно выделить также следующие свойства НС, которые определяют привлекательность их в решении задач автоматизации контроля и управления линиями производства кондитерской продукции:

- нейроконтроллеры пригодны для контроля и управления в условиях существенных неопределенностей;

- высокая параллельность НС является предпосылкой эффективной реализации аппаратной и программно-аппаратной поддержки нейросетевых контроллеров в контуре управления;

- многократно отмечаемое свойство нейронных сетей монотонно уменьшать качество работы при увеличении числа вышедших из строя элементов.

В процессе управления сложными техническими и организационно-техническими системами необходимо постоянно принимать непростые решения, связанные с учетом многих критериев качества и ограничений на ресурсы.

П. Системы компьютерного зрения

Важную часть в области искусственного интеллекта занимают *системы компьютерного зрения (СКЗ)* [3, 9, 12, 23, 25, 27, 46, 50, 55, 68, 77, 79 и др.]. Компьютерное зрение — революционная технология, имеющая безусловное преимущества перед зрением человека, позволяющая автоматизировать многие производственные процессы и технологии. Поэтому на данном этапе развития СКЗ по праву считаются одними из самых передовых и перспективных направлений развития [25, 60, 61, 67, 69, 73, 91]. При этом уже сейчас становится

ясно, что от успешного решения ряда сложных и неоднозначных задач компьютерного зрения зависит автоматизация множества процессов и операций самых различных отраслей промышленности, которые до этого управлялись и контролировались только человеком [3, 9, 25, 60, 61, 163, 200, 204, 215].

Применение СКЗ охватывает различные области деятельности:

- крупные промышленные производства различных отраслей промышленности;
- автоматизация контроля безопасности, возможность создания автономных систем на основе СКЗ в промышленных условиях;
- автоматизация контроля качества продукции и инспекция продуктов питания; полное исключение человеческого фактора при автоматизации контроля показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий;
- системы визуального контроля и управления (учет, считывание штрих- кодов);
- системы организации информации (для индексации баз данных изображений);
- системы моделирования объектов или окружающей среды (анализ изображения, топологическое моделирование);
- системы взаимодействия (например, устройство ввода для системы человеко-машинного взаимодействия);
- системы дополненной реальности;
- системы управления различными процессами (промышленные роботы).

Области применения

Системы СКЗ позволяют решать множество *задач*, которые условно можно разделить на четыре группы: распознавание положения, измерение, идентификация и инспекция [25, 60, 61, 234, 236, 247].

В большинстве практических применений СКЗ компьютеры предварительно запрограммированы для решения отдельных задач. В настоящее время СКЗ востребованы и используются в области контроля различных показателей качества и инспекции качества различных изделий в целом в различных отраслях промышленности, а также применяются для обнаружения дефектов готовых пищевых изделий.

Обзор и анализ полученной информации показал, что эффективное использование СКЗ в системах автоматизации производства, прежде всего, наблюдается на наиболее развитых производствах с общей высокой культурой и технологией. На менее низком уровне на цифровые видеосистемы возлагается роль дополнения, расширяющего возможности и повышающего эффективность человеческого зрения, при ведущей роли человека-оператора технологического оборудования. Использование СКЗ для автоматического контроля производственных процессов на заводах и фабриках позволяет сократить расходы на персонал и уменьшить травмы в процессе работы. Производственные помещения могут оснащаться специальными камерами, которые смогут следить за производством лучше человека и контролировать все помещения и процессы одновременно. Анализ получаемых с СКЗ данных в таких системах происходит практически мгновенно, что делает их совершенными и необходимыми для широкого использования, в том числе в производстве кондитерской продукции.

Ш. Мультиагентное имитационное моделирование

Проведенный анализ методов и средств *имитационного моделирования* позволил осуществить выбор наиболее эффективной системы для имитационного моделирования производства кондитерской продукции.

Имитационным моделированием называется метод, позволяющий строить модели, описывающие процессы так, как они проходили бы на самом деле. Этот метод дает возможность изучить исследуемые процессы виртуально, проведя эксперименты с изменением технологических и режимных параметров системы с целью получения информации об этой системе. В дальнейшем эта информация используется для анализа и оценки функционирования объекта [25, 61, 104, 147, 199]. При этом имитационную модель часто используют для нахождения слабых звеньев и узких мест исследуемого процесса.

Использование метода имитационного агентного моделирования позволяет сократить время на программирование. Метод удобен для накопления и

представления основных параметров исследуемого процесса. Из существующей библиотеки имитационных моделей можно для исследуемой предметной области заранее построить стандартные компоненты.

Проведенный обзор и анализ методов и средств имитационного моделирования показал перспективность использования для мультиагентного имитационного моделирования системы AnyLogic. Сравнительная характеристика известных систем имитационного моделирования показана в таблице 2.1

Характеристика известных систем имитационного моделирования

Таблица 2.1

Критерий	AnyLogic	Visual Components	Simulink
Класс задач / парадигмы	DES (событийная), агент-ориентированная, системная динамика; логистика, склады, производство, транспорт	3D-симуляция производственных линий, роботов и конвейеров; быстрое компоновочное моделирование	Моделирование динамических систем, управление, сигнал-процессинг; блок-схемы, Stateflow
3D и библиотека оборудования	Есть 3D-viewer, библиотека процессов, пешеходы/дороги; 3D умеренно детализирован	Сильная 3D: большая библиотека станков, роботов, конвейеров; удобный layout	3D через Simscape Multibody/Unreal; библиотек оборудования для цехов меньше
Физика/кинематика	Абстрактные процессы, без детальной физики	Кинематика роботов, коллизии; не про точную физику	Физика и точные модели (Simscape, Multibody), непрерывная динамика
Управление и кодогенерация	Имитация логики, без генерации кода для контроллеров	Нет кодогенерации; логика на блоках/скриптах	Генерация C/IEC 61131-3 (PLC Coder/Embedded Coder), HIL/RT поддержка
Интеграции (PLC/OPC/со-сим)	API на Java; сокеты/REST; облако AnyLogic; FMI/со-сим — через расширения/SDK	Python API; интеграции через скрипты/плагины, обмен по TCP/REST; OPC через сторонние коннекторы	Богатые toolboxes: OPC, ROS, FMI/FMU, внешние цели, реальное время

Язык скриптов	Java (и JavaFX для UI)	Python	MATLAB/Simulink/Stateflow
Машинное зрение / ИИ	Встраивание Java-библиотек/REST сервисов	«Синтетика» для датасетов (вирт. камеры), управление из Python	Готовые тулбоксы: Computer Vision, Deep Learning; генерация и тест алгоритмов
Эксперименты и оптимизация	Сценарии, Монте-Карло, OptQuest, AnyLogic Cloud	KPI/статистика; эксперименты проще, чем в AnyLogic	Design Optimization, Simulink Test, Requirements
Масштаб/производительность	Хорош для больших потоков/агентов, лёгкий 3D	Отличен для средних-крупных 3D-цехов	Отличен для сложных контуров управления и многодоменных моделей
Типичные кейсы	Планирование/расписание, логистика, AGV, производственные потоки	Проектирование и демонстрация линий, роботизация, layout, POC-цифровых двойников	Синтез регуляторов, цифровые фильтры, мехатроника, HIL/PLC
Порог входа	Средний; нужна логика процессов и немного Java	Низкий-средний; фокус на визуальном моделировании, Python по мере надобности	Средний-высокий; требуется MATLAB/контрольные теории
Лицензирование	Коммерческая; академ. лицензии/PLE	Коммерческая, модульные опции	Коммерческая, модульные тулбоксы; академ. лицензии
Сильные стороны	Мультипарадигмность, мощные эксперименты, облако	Богатая 3D-база, роботы/конвейеры «из коробки», быстрое прототипирование	Точная динамика, кодогенерация, тесная связка с реальным оборудованием
Ограничения	Не для точной физики и сложной кинематики	Нет детальной физики и кодогенерации	Слабее в готовых библиотеках цехового оборудования/потоков

IV.Технологии виртуальной и дополненной реальностей

Виртуальная (VR) и дополненная реальность (AR) - это мощные перспективные интеллектуальные технологии, которые позволяют решать различные сложные задачи промышленных производств [75, 112, 164, 258, 282].

Виртуальная реальность (VR) – это смоделированная реальность, в которой создается иллюзия присутствия пользователя в искусственном мире и его взаимодействие с объектами этого мира через органы чувств. Виртуальная реальность способна воздействовать на все органы чувств (зрение, слух, осязание и др.) и тем самым сделать восприятие мира максимально естественным [164].

Дополненная реальность (AR) — это среда, в реальном времени дополняющая физический мир, каким мы его видим, цифровыми данными с помощью каких-либо устройств. Ее главная цель – информирование человека об окружающей обстановке и предоставление всей необходимой информации об окружающих объектах (как визуальной, так и звуковой) [112].

Виртуальная реальность создает свой мир, куда может погрузиться человек, а дополненная добавляет виртуальные элементы в мир реальный. За последнее десятилетие VR\AR технологии трансформировали использование человеком компьютера, преобразили интерфейс взаимодействия человек-компьютер.

Области использования VR\AR технологий

Сегодня *технологии VR* набирают всё большую популярность. Они работают как инструменты для бизнеса, позволяют отправиться в путешествие, не выходя из дома, получить новые знания, развлечься и даже провести сложный научный эксперимент. Но это — далеко не всё. VR-технологии используют [4, 15, 75, 112, 164, 258]:

- при проектировании новых промышленных производств, новых цехов;
- в промышленности и бизнесе при решении различных сложных задач;
- в добыче полезных ископаемых;
- при получении профессиональных навыков;
- в образовании при получении новых знаний;
- в искусстве и развлекательных играх;
- при строительстве новых домов, фабрик, заводов, в туризме;
- в маркетинге и рекламе.

Использование виртуальной реальности на производстве применяется для создания обучающих процессов в различных областях, при автоматизации сложных промышленных систем и при решении сложных многоуровневых задач [15]. Одно из самых распространенных областей применения VR на производстве - обучение сотрудников и погружение их в рабочую среду (рисунок 2.8).



Рисунок 2.8 - Пример использования VR на производстве

Системы дополненной реальности AR-системы могут использоваться как автономно, так и совместно с системами виртуальной реальности как дополнительные информационные системы и элементы интерфейса. AR-системы первыми нашли свое коммерческое применение. Это были информационные системы нашлемных индикаторов, которые выводили всю необходимую информацию непосредственно перед глазами и помогали ориентироваться в пространстве. В дальнейшем эти технологии были интегрированы в более компактные системы очков дополненной реальности. Также при использовании AR-системы сотрудники предприятий, могут в полном формате в виртуальной среде, посмотреть, как устроено самое сложное оборудование, используемое на производстве.

AR-система помогает многим сотрудникам на производстве вырабатывать правильную последовательность установки и соединения электроники в промышленных линиях [258]. При помощи приложения оператор производства или электрик отдает голосовую команду и видит в очках дополненной реальности визуальные подсказки по сборке оборудования. Приложение, разработанное с помощью AR-технологии, строит инженеру, занимающемуся обслуживанием оборудования, оптимизированный маршрут в 3D пространстве. Подойдя к необ-

ходимому оборудованию, инженер при помощи смартфона или планшета считывает QR-код и видит подробную инструкцию по ремонту конкретного оборудования. Если при обнаружении в виртуальном пространстве поломка оказалась слишком серьезной, то инженер получит удалённую видео-консультацию в режиме дополненной реальности от более опытного специалиста. С помощью AR любой пользователь сможет легко получить доступ к технической документации, быстро связаться со специалистом по телефону или электронной почте.

С помощью AR технологий бренды смогут быстрее доносить информацию о составе продукции и ее пищевой ценности до потребителей. При этом, как правило, системы дополненной реальности снабжаются дополнительными датчиками, необходимыми для анализа окружающего пространства. Например, датчик, распознающий штрих код, может сразу вывести всю информацию о товаре перед глазами человека. Покупателям достаточно будет просто навести камеру смартфона на продукт, и вся основная информация уже будет на экране.

Появление недорогих и доступных высокоточных сред для разработки и визуализации виртуальной и дополненной реальностей открывает новые возможности для прямого использования данных технологий в промышленности, поскольку они являются экономически эффективными и выгодными. Например, при создании различных кондитерских изделий могут возникнуть нештатные ситуации, которые будут нарушать весь процесс производства [1, 2, 11, 14]. В этих случаях эффективно использование виртуальной и дополненной реальности.

Использование AR\VR -технологий в кондитерском производстве ускоряет процесс изготовления продукции, установки и сборки нового оборудования, что позволяет снизить риск аварий и внештатных ситуаций, а также повышает эффективность работы технологических производственных линий за счёт большей компетенции сотрудников в работе. Благодаря использованию технологии виртуальной и дополненной реальности снижаются риски совершения ошибок на производстве.

Используя виртуальную и дополненную реальности, производители смогут организовывать «цифровые экскурсии» на свои предприятия. Данная технология поможет предпринимателям привлечь больше клиентов и сотрудников.

Обзор и анализ возможности использования AR\VR технологий в кондитерской промышленности показал большую перспективность их применения в процессе ремонта сложнейшего оборудования, при сборке и отладке новых промышленных линий, при решении сложных ремонтных задач, связанных с оборудованием. Без использования AR\VR технологий инженерам приходится в незамедлительном порядке вызывать сервисные службы, что, безусловно, влияет на стоимость, скорость и качество требуемого ремонта. Использование AR\VR технологий остаётся инструментом, который будет привлекательным для увеличения производительности линий производства продукции, повышения конкурентоспособности компаний на рынке.

Анализ решаемых AR\VR -технологиями задач показал, что их использование в кондитерской промышленности будет эффективным также при решении таких задач, как: техническое проектирование новых интеллектуальных систем контроля и управления; оптимизация этих систем; автоматическое программирование и тестирование программного обеспечения этих систем.

Внедрение и использование AR\VR позволяет существенно повысить эффективность технологических процессов производства продукции, упрощая возникающие рабочие задачи и способствуя принятию решений, которые требуют высокой точности, внимательности и наибольшего использования времени от человека.

V. Цифровые двойники

Появление цифровых двойников является результатом наступления новой промышленной революции - цифровизации. Развитие автоматизации ТП и производств вступило в новую фазу, которая характеризуется повсеместным внедрением технологий искусственного интеллекта, и в первую очередь цифровых двойников.

По существу, цифровой двойник – это виртуальная модель объектов, систем, процессов или людей [10, 185, 189]. Он точно отображает форму и действия оригинала, синхронизирован с ним.

Концепция цифровых двойников была предложена еще в 2003 году в статье "Цифровые двойники: превосходство в производстве на основе виртуального прототипа завода" Майкла Гривса, профессора Технологического университета во Флориде.

В последние годы во многих отраслях промышленного производства большое внимание уделяется цифровым двойникам, как новому высокоэффективному средству моделирования реальных производственных объектов. Благодаря этому новому методу моделирования, предприятия теперь могут использовать цифровые двойники в своих бизнес-процессах. В промышленных и научных кругах существуют различные трактовки понятия "цифровой двойник". В широком смысле, цифровой двойник представляет собой проекты, которые создают цифровую копию физического объекта, проекта или системы.

В промышленности применение цифровых двойников основано на создании точной компьютерной модели производственного процесса, которая потом визуализируется на экране. Благодаря этому, операторы могут тщательно отслеживать каждый шаг производства и быстро реагировать на любые непредвиденные ситуации. Кроме того, появилась возможность тестировать новые проекты в виртуальном мире, что позволяет сократить затраты времени, ресурсов и денег. Связь между объектом и его цифровым двойником обеспечивает уникальные возможности для динамического контроля производительности физического объекта и его текущего состояния. Этот инновационный подход позволяет цифровому двойнику непрерывно предсказывать работоспособность объекта и прогнозировать оставшийся срок его службы. Более того, цифровая модель способна рано обнаруживать отклонения и планировать необходимые технические обслуживания.

В научной сфере, цифровой двойник определяется как решение, которое

должно соответствовать ряду требований:

- использование физических и статистических моделей, основанных на данных, полученных с датчиков физического объекта;
- передачу данных с физического объекта на виртуальную модель в реальном времени;
- моделирование процессов на микро- и макроуровне.

В настоящее время процесс формирования этого термина продолжается и определение цифрового двойника может изменяться по мере развития технологий. В ряде исследований [10, 185, 189, 241] показано, что цифровой двойник продукта является инструментом разработки изделий, сочетающий в себе множество параметров и ограничений. Он позволяет проводить виртуальные испытания и вносить изменения в конструкцию без необходимости создания физических прототипов. Благодаря использованию цифрового двойника, можно успешно пройти натурные испытания с первой попытки, что в значительной степени повышает эффективность процесса разработки уникальных изделий.

Классификация цифровых двойников

Первоначальная классификация цифровых двойников была представлена М. Гривсом [261]. В этой статье было указано, что существуют два типа цифровых двойников, а также были введены следующие определения:

- Цифровой двойник-прототип (Digital Twin Prototype - DTP) – это подробное определение физического объекта, содержащее полностью аннотированные 3D-модели, спецификации, информацию о технологии производства, а также данные о эксплуатации и обслуживании.

- Цифровой двойник-экземпляр (Digital Twin Instance - DTI) - это цифровой двойник конкретного изделия после его изготовления, который остается связанным с ним на протяжении всего его жизненного цикла.

Цифровые двойники аккумулируют актуальные данные от датчиков, которые можно использовать для прогнозирования будущего поведения данного фи-

зическогообъекта. В этом контексте, цифровые двойники функционируют в цифровой среде окружения в различных целях. Такими целями могут быть:

- Прогностическая цель: использование цифрового двойника для прогнозирования будущего поведения и производительности физического объекта.
- Опросная цель: запрос прошлых данных за любой период функционирования изделия, а также запрос текущего состояния.

Классификация Гривса, которая приводится во многих работах, посвященных цифровым двойникам, оказалась не слишком удобной с практической точки зрения, и более удобной является классификация, приведенная на рисунке 2.9.



Рисунок - 2.9. Классификация цифровых двойников

В ходе проведенного исследования было изучено применение цифровых двойников в процессе разработки продукции и предложены различные теоретические подходы и инструменты для создания цифровых двойников, ориентированных на процесс производства кондитерских изделий.

Цифровой двойник процесса (см. рис. 2.10) способен точно моделировать реальные производственные процессы, отражать текущее состояние оборудования и использовать данные от датчиков для прогнозирования будущего состояния системы. Более того, цифровой двойник может моделировать различные режимы работы и конфигурации оборудования с целью оптимизации производства.

На рисунке 2.10. представлена существующая классификация типов цифровых двойников.



Рисунок - 2.10. Типы цифровых двойников

Прототип - это цифровой аналог физического объекта, который содержит всю необходимую информацию для его создания, включая материалы, процессы производства и утилизации. Цифровой прототип является конкретным экземпляром физического объекта и сопровождает его на протяжении всего срока эксплуатации. Он может включать 3D-модель, описывающую компоненты физического объекта, его геометрию, выполненные операции, результаты испытаний и данные с датчиков, отражающие его текущее состояние.

Необходимо выделить отдельную категорию цифровых двойников, а именно агрегаторы. Агрегатор - это система, объединяющая все цифровые двойники-экземпляры. Такой цифровой двойник имеет доступ ко всем остальным цифровым двойникам и может использовать их по запросу.

Проведенный обзор и анализ исследований по использованию цифровых двойников показал, что цифровые двойники возможно использовать для обеспечения необходимых характеристик ТП выработки продукции в режиме реального времени как на этапах проектирования, так и при производстве изделий. Этот инструмент также позволяет заранее выявить возможные непредвиденные ситуации, а также имеются возможности использования цифрового двойника для контроля и мониторинга сложных ТП, их корректировки и оптимизации.

Статья [218] посвящена созданию в России "цифрового роботизированного завода сырокопченых колбас", где рассматривается цифровой двойник физического завода с учетом возможностей цепочки поставок и процесса цифровизации. Это исследование представляет важный вклад в развитие современных методов проектирования и управления производственными процессами.

Кондитерские производства в настоящее время оснащены технологическим оборудование высокой степени автоматизации, робототехники и мехатроники. В связи с этим перед кондитерскими фабриками стоят задачи цифровизации существующих производств, приведения имеющихся линий производства в соответствие с существующими трендами, внедрение цифровых двойников.

Нами была исследована возможность использования цифровых двойников для моделирования линий производства кондитерских продуктов. Проведенные исследования показали, что цифровые двойники представляют собой виртуальные модели, которые позволяют описывать функционирование как отдельных изделий, так и линий производства, цехов, а также целых предприятий. В такие модели включается огромное количество данных, которые позволяют имитировать работу сложной системы в виртуальном мире и управлять ее элементами в реальном времени. Такой подход открывает возможности для оптимизации бизнес-процессов уже существующих предприятий, а также для проектирования новых. Внедрение цифровых двойников в производство кондитерских изделий дает предприятиям следующие преимущества: ′

- Прогнозировать результаты слишком дорогих или сложных изменений с помощью виртуальных датчиков. ′
- Тестировать сценарии «что, если...?» для изменений в ТП производства. ′
- Оптимизировать производство на этапе проектирования и сравнивать оптимальную производительность с фактической. ′
- Анализировать состояние оборудования и предупреждать конец срока службы.

VI. Технологии интернета вещей

С появлением интернета вещей (IoT) технологии цифровых двойников стали выгодными с экономической точки зрения и получили широкое признание общества [52]. Первым термин «интернет вещей» предложил британский ученый Кевин Эштон для повышения эффективности логистических операций без посредничества человека.

Интернет вещей (англ. internet of things, IoT) — концепция сети передачи данных между физическими объектами («вещами»), оснащёнными встроенными средствами и технологиями для взаимодействия друг с другом или с внешней средой. Существует и другое определение технологии Интернета вещей – это система взаимосвязанных вычислительных устройств, которые могут собирать и передавать данные по беспроводной сети без участия человека [52].

Интернет вещей (IoT) описывает сеть физических объектов — «вещей», которые оснащены датчиками, программным обеспечением и другими технологиями для подключения и обмена данными с другими устройствами и системами через интернет. Термин IoT, или интернет вещей, относится к коллективной сети подключенных устройств и технологий, облегчающим связь между устройствами и облаком, а также между самими устройствами. То есть интернет вещей — это сеть сетей, так как эта технология позволяет объединять в единую систему разрозненные сети.

Варианты связи включают Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, сотовые сети (например, 4G/5G), и другие беспроводные и проводные технологии. Обработка данных включает серверы и облачные платформы, которые принимают, обрабатывают и хранят данные, поступающие от IoT-устройств [52].

Технологии интернета вещей подразделяются на следующие типы: потребительский, коммерческий, промышленный и инфраструктурный.

Благодаря подключенным датчикам к сети интернета вещей (IoT) можно удаленно отслеживать показатели качества производства кондитерской продукции. Речь идет не только о ноутбуках и смартфонах. Почти все устройства с кнопкой включения/выключения потенциально могут подключиться к интернету и стать частью интернета вещей. По сути, это может быть любой объект, которому можно назначить сетевой адрес (IP-адрес) и который может передавать данные по сети.

Система интернета вещей включает в себя датчики и устройства, взаимодействие которых осуществляется через облачное соединение. Как только данные попадают в облако, осуществляется их обработка программными средствами и принимается решение о необходимости выполнения определенных действий, например, настройки датчиков и устройств без необходимости ввода данных пользователем или отправки уведомлений.

Полная система интернета вещей состоит из четырех отдельных компонентов: датчики устройств, средства подключения, инструменты обработки данных и пользовательский интерфейс.

Датчики устройств собирают данные в определенной среде. Устройство может иметь несколько датчиков, которые собирают данные из окружающей среды для решения определенных задач.

Средства подключения. После сбора данных от датчиков устройство должно отправить их в облако. Это делается это по-разному: по Wi-Fi или Bluetooth, посредством спутниковой связи, через энергоэффективные сети дальнего радиуса действия (LPWAN) или при подключении напрямую к интернету через Ethernet. Вариант подключения зависит от области применения конкретного устройства интернета вещей.

Инструменты обработки данных. Как только данные попадают в облако, осуществляется их программная обработка с целью последующего решения о выполнении определенных действий. Эти действия могут включать отправку предупреждений или автоматическую настройку датчиков устройства без участия пользователя. Однако иногда требуется ввод данных со стороны пользователя. В этом случае требуется пользовательский интерфейс.

Пользовательский интерфейс позволяет осуществить ввод данных со стороны пользователя или выполнить проверку работоспособности системы. Все действия пользователя передаются через систему: от интерфейса в облако, а затем к датчикам устройств для внесения запрошенных изменений.

Протоколы подключения и сетевого взаимодействия, используемые веб-устройствами, различаются в зависимости от области применения устройства интернета вещей. Для упрощения и ускорения процессов сбора данных при работе интернета вещей все чаще используется искусственный интеллект и машинное обучение.

Области применения и уникальные преимущества интернета вещей. Существует множество областей применения интернета вещей. Ниже перечислены самые популярные.

Носимые устройства– это, пожалуй, самый заметный для простого обывателя тип устройств интернета вещей. К ним относятся фитнес - трекеры, умные часы, умные очки, гарнитуры виртуальной реальности и многое другое.

Умные дома. В систему «умный дом» входит бытовая техника. Система используется для автоматизации определенных задач и обычно управляется дистанционно.

Умные города. В умных городах используются такие устройства интернета вещей, как датчики и счетчики для сбора и анализа данных. Затем эти данные могут использоваться для улучшения инфраструктуры, коммунального обслуживания и других сервисов.

Беспилотные автомобили. В беспилотных автомобилях обычно используется технологическая система на основе интернета вещей, передающая данные как о самом автомобиле, так и о дороге, по которой он движется. Самостоятельное движение автомобиля достигается благодаря тому, что данные о дорожном движении, навигации, внешней среде и многом другом собираются и анализируются компьютерными системами автомобиля.

Розничная торговля. Интернет вещей все чаще используется в розничной торговле. Он позволяет обеспечить персонализированные скидки, а также реализовать умные полки (предупреждающие продавца о том, что заканчиваются запасы), роботизацию рабочих мест и оптимизированное управление цепочками

поставок. Магазины работают за безналичный расчет; деньги списываются с кошельков, например, Amazon покупателей. Товары добавляются в корзины покупателей в режиме реального времени, когда они берут их с полок.

Телемедицина. Телемедицина подразумевает использование компьютерных и телекоммуникационных технологий для оказания медицинских услуг. Интернет вещей является важным аспектом телемедицины. Примеры его применения включают удаленную медицинскую диагностику, цифровую передачу медицинских изображений, видеоконсультации со специалистами и прочее.

Умное сельское хозяйство предполагает использование цифровых технологий для оптимизации сельскохозяйственных работ. Фермеры могут использовать подключенные датчики, камеры и другие устройства для получения общих данных о ферме и корректировки действий для повышения урожайности.

Этот список не является исчерпывающим: интернет вещей меняет образ действий и способы работы во многих сферах жизни. Примеры устройств интернета вещей включают умные мобильные телефоны, умные холодильники, умные часы, фитнес-трекеры, умные пожарные сигнализации, умные дверные замки, умные велосипеды, медицинские датчики, виртуальные датчики контроля качества продукции, умные системы безопасности, а также виртуальные помощники, такие как Alexa и Google Home. И этот список можно продолжать дальше.

Таким образом, технология Интернета вещей может использоваться для эффективного контроля, мониторинга, диагностики, прогнозирования и управления ТП кондитерских производств, обеспечивая переход кондитерской отрасли к полной цифровизации. Особенно эффективно применение данных технологий для Холдингов, включающих большое количество входящих в них кондитерских предприятий.

VII. Экспертные системы

Актуальность развития и создания *экспертных систем* в настоящее время несомненна [10, 26, 31, 60, 61, 66, 155 и др.]. Важными областями применения экспертных систем являются:

1. Прогнозирование. Прогнозирующие ЭС предсказывают возможные результаты или события на основе данных о текущем состоянии объекта.

2. Контроль и управление. Системы, основанные на знаниях, могут применяться в качестве интеллектуальных систем контроля и принимать решения, анализируя данные, поступающие от нескольких датчиков контроля хода ТП производства. Также такие системы могут быть полезны при регулировании процессов производства продукции и оказывать помощь при выработке решений в критических ситуациях [10, 60, 61]. Проведенный обзор и анализ работ по ЭС показал, что разработанная экспертная система может стать серьёзной и значимой частью кондитерского производства, рационализируя управление этим производством, минимизируя расходы на организацию и проведение регистрации показателей качества сырья и полуфабрикатов на всех стадиях производства с последующим анализом полученных результатов, прогнозированием качества готовых изделий с возможностью оперативного управления ходом производства. Такая управляющая ЭС может применяться как для целей контроля, так и для диагностики, прогнозирования и управления [10, 54, 60, 61]. Существует ряд прикладных задач, которые решаются с помощью экспертных систем, основанных на знаниях, более успешно, чем любыми другими средствами [25, 60, 61,155].

На рисунке 2.11. представлена типовая схема ИСУ с экспертным регулятором (ЭР), в которой ЭС оптимизирует работу системы.

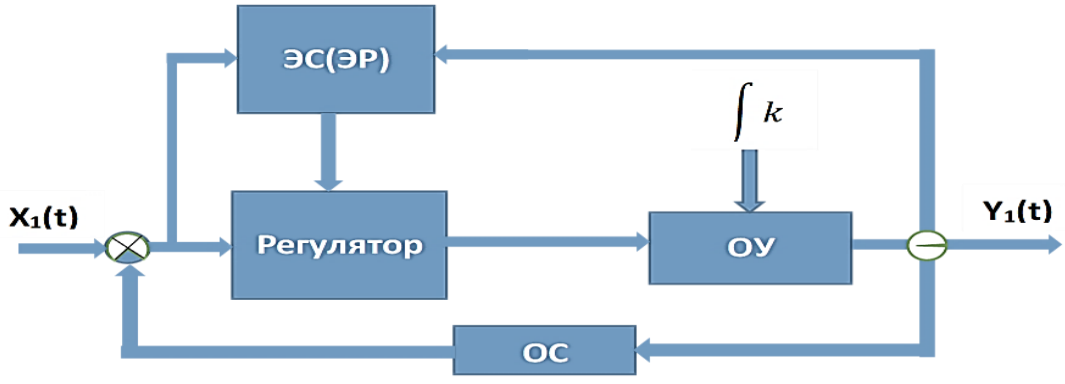


Рисунок 2.11 - Типовая схема ИСУ с экспертным регулятором

Здесь ЭС содержит три модуля: прогнозирования, анализа состояния, выбора назначения и параметров стратегии управления. Такая схема может найти применение, например, для управления гибкой системой производства (ГСП) на линиях с различными видами кондитерских изделий, где $X_I(t)$ - совокупность заказов на различные виды изделий, $У_I$ (t) - совокупность произведенного конечного продукта. Для ГСП характерны признаки: частая вариация X_I (t), большой объем обрабатываемой информации и динамичная среда функционирования [34, 37]. ЭР (экспертный регулятор) здесь производит оценку оперативного состояния системы производства определенного вида кондитерской продукции в режиме реального времени на базе информации от датчиков (сенсоров) и вырабатывает наиболее рациональную стратегию управления с подбором характеристик и параметров управления. Такие ЭС (ЭР) в известной степени имитируют действия человека-оператора в условиях неопределенности характеристик ОУ и среды его функционирования.

ЭС эффективно можно использовать также на этапах проектирования ИСУ, например, в роли «советчика», предоставляя варианты определенных решений с пояснениями их достоинств и недостатков.

Практическое применение ЭС позволяет повысить качество и сократить время принятия решений, а также способствует росту эффективности работы и повышению квалификации специалистов.

Анализ выбранных наиболее эффективных интеллектуальных систем и технологий показал необходимость использования для создания ИСАКиУК кондитерской продукции ***гибридных интеллектуальных систем.***

Гибридная интеллектуальная система (ГИС)

Гибридная интеллектуальная система – это система, которыая при решении намеченных задач использует параллельно несколько различных методов искусственного интеллекта [25]. ГИС соединяет возможности различных интеллектуальных технологий и методов, беря от каждого его сильные стороны.

Изначально гибридный подход предполагал использование комбинации

экспертных систем и нейронных сетей. Однако, по мере развития интеллектуальных систем направление начало вбирать в себя новые подходы и методы интеллектуальных технологий. Комбинирование нескольких методов искусственного интеллекта в ряде случаев позволяет обеспечить лучшее решение, которое невозможно получить с помощью отдельных методов.

Системный анализ перспектив использования интеллектуальных технологий и систем в решении задач цифровизации кондитерской промышленности показал высокую эффективность именно гибридных интеллектуальных систем, включающих нейросетевые системы управления; системы компьютерного зрения; технологии мультиагентного имитационного моделирования; технологии виртуальной и дополненной реальностей; цифровые двойники; технологии промышленного интернета вещей и экспертные системы.

2.3.4. Анализ возможности интеллектуализации системы контроля и управления качеством производства кондитерской продукции

В настоящее время на предприятиях кондитерской промышленности наблюдается большой интерес к интеллектуальным автоматизированным системам (ИАС), способным эффективно осуществлять автоматизацию управления качеством производства кондитерских изделий [25]. Их основная задача – повышение эффективности ТП производства выпускаемой кондитерской продукции. Внедрение ИАС позволяет предприятиям:

- повысить качество выпускаемой продукции, снизить брак;
- увеличить производительность труда и сократить численность персонала;
- усовершенствовать управление ТП производства;
-усовершенствовать организацию работы предприятия в целом.

Как показали проведенные исследования, описанные в наших статьях [25 - 59], такие методы и технологии искусственного интеллекта, как нейросетевые технологии, системы компьютерного зрения, технологии мультиагентного ими-

тационного моделирования, технологии виртуальной и дополненной реальностей, технологии интернета вещей, цифровые двойники, экспертные системы, позволяют решать сложные задачи автоматического контроля и управления качеством выпускаемой кондитерской продукции. Отдельные элементы искусственного интеллекта могут быть введены в специальные модули системы, которые позволят выполнять функции программно- аппаратных комплексов автоматического контроля основных органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции.

Следовательно, в условиях нестабильности качества поступающего на кондитерские предприятия сырья, сложной формализуемой обстановки, влияния многочисленных внешних факторов и режимных параметров используемого оборудования на процесс производства кондитерской продукции, решением этих проблем может стать создание интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кондитерской продукции на основе использования гибридных интеллектуальных систем, в которые входят: технологии искусственных нейронных сетей, системы компьютерного зрения, технологии мультиагентного имитационного моделирования, технологии виртуальной и дополненной реальностей, технологии промышленного интернета вещей, цифровые двойники и экспертные системы.

Таким образом, проведенные исследования перспективности использования различных интеллектуальных технологий и их анализ показали, что в решении задач цифровизации кондитерской промышленности и создания интеллектуальной системы автоматического контроля и управления качеством кондитерской продукции необходимо использование ***гибридных интеллектуальных технологий и систем.***

2.4. Выводы по 2 главе.

Вторая глава посвящена выбору и научному обоснованию наиболее эффективных интеллектуальных технологий и систем для их использования при создании интеллектуальной системы автоматического контроля и управления качеством (ИСАКиУК) кондитерской продукции.

Проведен системный анализ методов, алгоритмов и технологий с точки зрения возможности и эффективности их применения при разработке ИСАКиУК кондитерских изделий в процессе производства.

Показано, что практической базой для реализации этой проблемы, в условиях нестабильности качества поступающего на кондитерские предприятия сырья, сложной формализуемой обстановки, влияния многочисленных внешних факторов и режимных параметров используемого оборудования на процесс производства кондитерской продукции, может стать создание интеллектуальной системы автоматического контроля и управления качеством кондитерских изделий на базе гибридных интеллектуальных систем и технологий, включающих в свой арсенал нейросетевые технологии, системы компьютерного зрения, технологии мультиагентного имитационного моделирования, технологии виртуальной и дополненной реальностей, технологии промышленного интернета вещей, цифровые двойники и экспертные системы.

В рамках этой главы рассмотрены проблемы управления ТП производства кондитерской продукции и пути их преодоления.

Рассмотрены особенности, признаки, функции и специфика использования наиболее перспективных интеллектуальных систем.

Проведен анализ возможности применения методов искусственного интеллекта в решении задач цифровой трансформации ТП производства кондитерской продукции.

Исследованы перспективы использования нейросетевых технологий, систем компьютерного зрения, мультиагентных имитационных моделей, виртуальной и дополненной реальностей, технологий промышленного

интернета вещей, цифровых двойников, экспертных систем и гибридных интеллектуальных систем в решении задач интеллектуализации контроля и управления качеством кондитерских изделий. Показаны перспективы гибридных интеллектуальных систем и технологий при создани системы автоматического контроля и управления качеством кондитерской продукции.

ГЛАВА 3. АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ В ПОТОКЕ ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА КОНДИТЕРСКОЙ ПРОДУКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МЕТОДОВ И ТЕХНОЛОГИЙ

3.1. Современное состояние методов и систем контроля и управления качеством продукции на промышленных предприятиях

3.1.1 Понятие качество продукции

Существуют различные подходы к определению качества. Ряд ученых представляют качество как совокупность свойств объекта (или процесса), или как динамически изменяющуюся систему свойств [173, 209, 217, 223]. В некоторых работах [195] качество рассматривается как многоуровневая динамическая система свойств, которая раскрывается через свойства объекта, его границы, устойчивость и изменчивость процесса, а также через структурные и системные характеристики объекта.

Формулировка качества была дана в ГОСТе 15467-93: «Качество продукции - совокупность свойств продукции, обусловливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением». В дальнейшем это определение потребовало корректировки. В соответствии с международным стандартом ИСО 8402-94 [2, 132]: «Качество - это совокупность характеристик объекта, относящихся к его способности удовлетворять установленные и предполагаемые потребности». В ГОСТ Р ИСО 9000-2011 указано, что «качество – это степень соответствия совокупности присущих характеристик требованиям», где «требование – это потребность или ожидание, которое установлено, обычно предполагается или является обязательным». Нередко на практике и в литературе под *контролем качества* подразумевают лишь некоторую констатацию фактов о реализованных технологиях и полученных свойствах продукции, а для определения задач управления используют термин «активный контроль» [2, 132, 141, 173, 217].

В изучении качества важную роль играет понятие границы. Границы определяют пределы количественных и структурных изменений, в пределах которых качество эволюционирует без резких изменений. Понятие границы непосредственно связано с понятием устойчивости: устойчивым считается процесс, который не выходит за определенные границы. Качество динамически изменяется в процессе производства продукции. Динамические изменения качества вытекают из динамических изменений свойств объекта. Динамическим процессом изменения качества можно управлять [186 - 188].

3.1.2. Современное состояние систем контроля и управления качеством продукции на промышленных предприятиях

Управление качеством в современном мире обычно упоминается в контексте двух систем управления: всеобщего управления качеством - Total Quality Management (TQM) и "стандартов системы качества" ИСО-9000 (ISO-9000). Между ними есть как общие черты, так и существенные отличия [95].

Концепция TQM

Концепция TQM ставит качество в центр всей производственной деятельности. Основной особенностью данной концепции является то, что управление качеством продукции должно обеспечиваться на всех этапах производства продукции. Важные принципы концепции:

1. Качество - основа эффективного менеджмента.

2. Вовлечение в деятельность по обеспечению и улучшению качества всего персонала фирмы. Девиз: «Качество - забота каждого».

3. Создание атмосферы заинтересованного участия, благополучия всех работников фирмы.

4. Постоянное удовлетворение требований потребителя за счёт совершенствования своей деятельности.

5. На каждом рабочем месте должен быть самоконтроль качества результатов.

6. Непрерывное обучение и совершенствование всех работников в области качества.

7. Постоянный анализ и улучшение системы обеспечения качества.

Основные принципы "стандартов системы качества" ИСО-9000 (ISO-9000).

Стандарты серии ИСО 9000 [95, 145]- это пакет документов по созданию систем качества. Основное отличие TQM от стандартов ИСО серии 9000 состоит в том, что TQM является вершиной современных методов и систем управления качеством, и ориентирована на повышение качества продукции и изделий, когда уже имеется некий достигнутый уровень. А внедрение стандартов ИСО серии 9000 скорее направлено на снижение вероятности сделать что-либо неверно [2].

В области управления качеством интенсивное развитие получила теория активных систем (ТАС), разработанная в Институте проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, основателем которой является В.Н. Бурков [74]. Основными методами исследований ТАС является математическое и имитационное моделирование [2, 39, 95, 96, 132, 145 и др.].

Система управления качеством продукции промышленных предприятий получила развитие в тесной взаимосвязи с ТАС [152]. Успешное решение задачи оптимизации качества продукции зависит в большой степени от адекватности моделей реальным технологическим процессам, удачного выбора критерия качества и от рациональной модели организации информационного обеспечения, хранения и обработки производственных данных.

Существующие в промышленности системы контроля и управления качеством

Система управления качеством с использованием статистических методов

В 80–е годы группа японских специалистов под руководством Исикавы выделили «семь простых статистических методов контроля, анализа и управления качеством». Такое название методы получили в связи с тем, что хотя и предназначены для работы со статистическими данными, но являются сравнительно несложными и могут эффективно использоваться работниками без специальной математической подготовки [199].

Основное назначение простых инструментов качества – контроль текущего процесса и предоставление фактов для проведения его корректировки или улучшения.

В настоящее время выбор метода статистического контроля качества продукции осуществляется в соответствии со спецификой рассматриваемой продукцией и целями использования данного метода.

3.1.3. Управление производством кондитерской продукции

Эффективное управление производством кондитерской продукции требует наличия достоверных данных о показателях качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции и тесно связанных с ними количественных показателях выпуска изделий. При этом важно, чтобы данные были получены в необходимые сроки, так как оперативность получения данных влияет на скорость принятия решений.

Основные контролируемые показатели качества разнообразной кондитерской продукции представлены в 1 главе, раздел. 1.2. Для эффективного управления производством необходимо накопление статистических данных о фактическом уровне качества получаемых кондитерских изделий и разработка на этой адекватных моделей реальным ТП, которые затем будут использованы для создания ИСАКиУК выпускаемой продукции.

Основой ИСАКиУК является система датчиков или сенсоров - это "нервная система" интеллектуальной структуры. Она контролирует состояние производства кондитерской продукции, обнаруживать любые изменения контролируемых параметров.

Анализ работающих на кондитерских предприятиях АСУТП [24 – 26, 30, 64] показывает, что СУ могут располагаться как в одном помещении, так и распределены по нескольким помещениям. СУ на базе промышленного логического контроллера осуществляет сбор информации с датчиков и формирует управляю-

щие сигналы на исполнительные механизмы в соответствие с заложенным алгоритмом. Оператор осуществляет управление оборудованием с использованием средств HMI.

Изученные схемы автоматизации поточных линий производства кондитерской продукции показывают пути для дальнейшего исследования, развития и внесения новых решений для максимально эффективной автоматизации и цифровизации ТП, что повлечёт за собой исключение возможных ошибок, минимизацию расходов и трудозатрат, а также повышение качества производимой продукции.

Следует учитывать существующие в кондитерском производстве проблемы. Это: постоянно меняющийся спрос потребителей на различные сорта конфет, появление новых кондитерских изделий, новых технологий и прогрессивного нового оборудования, высокоэффективных средств автоматизации. Для выполнения этих требований необходима гибкая, способная быстро перестраиваться интеллектуальная система управления качеством, способствующая автоматическому контролю в потоке конвейерной линии органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых конфет с использованием гибридных интеллектуальных технологий и систем.

К существующим на кондитерских предприятиях системам управления относятся ERP, MES, SCADA, а так же аппаратные и программные средства нижнего уровня. MES-системы – это СУ производством АСУ Пр, построенные на программируемых логических контроллерах и средствах HMI [5, 53, 211, 251].

Несмотря на значительный прогресс в использовании на кондитерских предприятиях современных аппаратных и программных средств HMI, в том числе высокотехнологичных промышленных и персональных компьютеров, на сегодняшний день автоматизация процесса производства конфет на большинстве кондитерских предприятий не соответствует современным технологиям, поскольку контроль органолептических показателей качества сырья, полуфабрика-

тов и готовых конфет осуществляется сенсорными методами, вручную, в лабораторных условиях экспертами- технологами с использованием дегкстаций. Следовательно, существующая ситуация не позволяет отечественным кондитерским предприятиям составить конкуренцию западным компаниям. Поэтому актуальной задачей является модернизация АСУТП производства конфет с использованием высокоэффективных интеллектуальных технологий.

Таким образом, магистральным направлением повышения эффективности производства кондитерских изделий является разработка и внедрение средств автоматического контроля в режиме реального времени органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых конфет, и создание на их базе интеллектуальных автоматизированных систем управления.

3.1.4. Анализ существующих методов, способов и средств контроля органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий в процессе производства кондитерской продукции

В настоящее время органолептический контроль качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции осуществляется в помещениях кондитерских предприятий на основании стандартов на методы контроля, а также действующих инструкций, утвержденных в установленном порядке, и в соответствии с требованиями соответствующих ГОСТов или ТУ [2, 95 – 102, 152, 167, 235].



Рисунок 3.1 - Лаборатории кондитерских предприятий с экспертами

Лаборатории кондитерских предприятий (рисунок 3.1) выполняют два вида контроля: технохимический и органолептический. Все операции контроля

в лабораториях проводятся в соответствии с утвержденными методиками (инструкциями) и оформляются в письменном виде непосредственно после их проведения. Контролируемые органолептические показатели качества различных кондитерских изделий были исследованы и представлены в таблицах 1.1 – 1.11 раздела 1.2. «Исследование и анализ ТП кондитерского производства как объектов автоматизации». Показатели качества различных видов конфет оцениваются в соответствии с ГОСТ 4570—2014 «Конфеты. Общие технические условия», ГОСТ 5897-90 «Изделия кондитерские. Методы определения органолептических показателей качества, размеров, массы нетто и составных частей» и др.

Для определения качества сырья производится: 1) отбор проб – по ГОСТ 10852-86; 2) определение размера семян или орехов (вручную осуществляется контроль угла естественного откоса), а также % содержания сорной и масличной примеси – по ГОСТ 10854-88; 3) Определение влажности – по ГОСТ 10856-96; 4) определение цвета, запаха – по ГОСТ 27988-88.

Определение органолептических показателей сыпучего сырья - семян подсолнечника или орехов (цвет, запах, вкус, размеры и хруст) осуществляют согласно Межгосударственному стандарту «ГОСТ 22391-2015 «Семена. Технические условия» в лабораториях кондитерских предприятий. Поставляемые семена подсолнечника или ядра орехов должны иметь цвет, запах, свойственные нормальному сырью (без затхлого, плесневого и постороннего запахов).

Методы определения цвета и запаха семян подсолнечника и орехов прописаны в ГОСТ 10967 - 90 «Методы определения запаха и цвета сырья». Характер и интенсивность запаха определяют органолептически, по ощущению воспринимаемого запаха при температуре 20 °С с использованием обонятельных органов чувств человека [173]. При определении запаха должны соблюдаться следующие условия: воздух в помещении, где проводится анализ, не должен иметь никакого запаха; одежда, руки, лицо, волосы эксперта не должны иметь отвлекающего запаха, одно и то же лицо не должно длительное время производить определение

запаха, так как наступает утомление, привыкание. *Цвет семян* определяют визуально при рассеянном дневном свете или при достаточно ярком искусственном освещении. В настоящее время *цвет* оценивается с помощью зрения человека визуальным методом. При определении цвета эксперты устанавливают различные отклонения от цвета для данного вида дисперсной массы [208, 244]. Результаты оформляют в виде таблицы 3.1 «Определение размера, запаха и вкуса сырья: семян подсолнечника, орехов».

Органолептические показатели сыпучего сырья

Таблица 3.1

Сорт сырья	Цвет	Запах и вкус	Размер	Соответствие ГОСТ

Также, как отмечалось ранее, контролируемыми показателями качества семян подсолнечника или орехов являются внешний вид и коэффициент извлечения примесей (засоренность,%), которые также определяются органолептическими методыми в соответствии с ГОСТ 10854-2015 «Семена масличные. Методы определения сорной, масличной и особо учитываемой примеси».

Таким образом, для определения *органолептических показателей качества сырья* в процессе производства в настоящее время используют, в основном, методы органолептического контроля.

Внешний вид, *вкус и запах* — важнейшие показатели качества любых готовых кондитерских продуктов. У продуктов может присутствовать посторонний *запах* (прогорклый, гнилостный, плесневелый), который изменяет качество продукта, а также может сделать продукт непригодным к использованию [173]. Для улучшения восприятия запаха эксперты обычно увеличивают поверхность летучих веществ или повышают температуру исследуемого изделия [208].

Также каждый продукт имеет свойственную ему *консистенцию*, ее проверяют легким прощупыванием, нажатием, надавливанием, размазыванием, прокалыванием. С помощью осязательных ощущений можно получить представле-

ние о консистенции [173, 209]. *Форма* полученных конфет определяется визуально. Деформация конфет не допускается. *Структура* конфет также определяется органолептическими методами экспертами.

Поверхность кондитерских изделий. Конфеты с плесенью на поверхности, пораженные шоколадной огневкой, приемке и реализации не подлежат. Для многих кондитерских изделий большое значение имеет *блеск поверхности* готовых конфет (шоколад, глазированный зефир, драже и т.д.), который также определяется в настоящее время экспертами при визуальном осмотре готовых изделий.

В кондитерской промышленности при органолептической оценке качества кондитерских изделий используются разные средств оценки. Для того чтобы сделать органолептическую оценку более объективной введена балльная оценка. При балльном способе оценки качества каждый органолептический показатель оценивается определенным количеством баллов, после чего результаты суммируются. Сумма всех баллов выражает общую оценку качества готовых кондитерских продуктов. Оценка запаха и вкуса кондитерских изделий производится по 5-балльной шкале [132]. Таким образом, органолептический контроль является важным этапом при определении показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий на кондитерских предприятиях.

Однако, несмотря на отмеченные достоинства этих методов, органолептический анализ является очень длительным процессом, требуют хорошо организованной и эффективной работы специально обученного персонала, больших материальных затрат на его обучение и создание специально оборудованных помещений. Нарушение этих условий может привести к получению необъективных результатов [25, 60, 231]. Недостатками органолептического метода являются его субъективность и невозможность быстрой оценки качественных показателей сырья, полуфабрикатов и готовой продукции [61]. Результаты оценки показателей качества нельзя использовать в интеллектуальных системах управления.

В соответствии с регламентом, установленным на большинстве предприятий, органолептический контроль проводится один раз в смену путем взятия

пробы, что может привести к пропуску брака. Проведенные исследования и анализ ТП производства разнообразных кондитерских изделий как объектов автоматизации (п.1.2) показали необходимость непрерывного контроля поступающего сырья, полуфабрикатов и готовых изделий на всех этапах производства. Для этого необходимо разработка и внедрение средств автоматического контроля в потоке органолептических показателей качества кондитерских изделий и разработка на их базе ИСАКиУ, что позволит осуществить цифровую трансформацию отраслей кондитерского производства. Применение такой системы исключит влияние человеческого фактора на объективность анализа, сократит производственный цикл выпуска кондитерских изделий, ликвидировав стадию органолептической оценки качества, а также даст возможность использовать ИСАКиУ для прогнозирования качества готовой продукции [11, 18 – 21, 24 - 44].

3.2. Выбор наиболее важных органолептических показателей качества кондитерской продукции, подлежащих автоматическому контролю в потоке на каждой стадии производства

При создании ИСАКиУК необходимо знать наиболее важные показатели органолептической оценки кондитерской продукции и концентрировать автоматические средства их контроля в наиболее уязвимых частях линии производства. Это - важная особенность проектирования интеллектуальной системы.

Анализ представленных в работе исследований (глава 1, пп. 1.1 – 1.5 и глава Ш, пп. 3.1 – 3.2), разработанные ФСС процессов производства кондитерских изделий разной структуры (твердой, желеобразной, аморфной и т.д.) с указанием необходимых точек контроля и регулирования (рисунки 1.5, 1.9, 1.14, 1.19, 1.23, 1.28, 1.32, 1.36 и 1.40), а также полученные профилограммы органолептической оценки исследуемых образцов различной кондитерской продукции позволили определить наиболее информативные, наиболее значимые показатели качества сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции. Это: *коэффициент извлечения примесей в сырье; угол естественного откоса сыпучего масс (сырья и*

готовой продукции); внешний вид сырья и готовой продукции; консистенция кондитерских масс; вязкость; вкус; запах; цвет; форма кондитерских изделий и блеск поверхности этих изделий. По результатам данной работы были получены *два свидетельства о государственной регистрации базы данных* (№ 2024625642 «Органолептические показатели качества современной кондитерской продукции» [223] и №2024626158 «Реологические показатели качества современной кондитерской продукции» [224]).

Как было показано в п.3.1.4, в настоящее время все эти показатели определяются сенсорными методами в лабораторных условиях экспертами- дегустаторами. При этом длительность отбора и анализа образцов не позволяют использовать имеющиеся методы для создания ИСАКиУК кондитерской продукции.

Поэтому следующей важной задачей явилось проведение обзора существующих новых инструментальных методов и средств контроля, оценка возможности их использования в ИСАКиУК кондитерской продукции.

3.3. Оценка возможности использования новых инструментальных методов и средств контроля в интеллектуальных системах управления качеством кондитерской продукции

Для решения задач автоматизации управления качеством производства кондитерской продукции и исключения брака готовых изделий, был проведен обзор и анализ существующих новых инструментальных методов и средств контроля. Выполнена оценка возможности их использования в разрабатываемой ИАСКиУ качеством кондитерской продукции.

1. *Коэффициент извлечения примесей в сырье;*

Как известно из наших исследований (свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024625642 «Органолептические показатели качества современной кондитерской продукции» [223] и №2024626158 «Реологические показатели качества современной кондитерской продукции» [224]), одним из важнейших показателей качества является коэффициент извлечения примеси в

сырье, который в настоящее время анализируется и рассчитывается в лабораториях кондитерских предприятий по результатам ручного контроля, что связано с затратой большого количества времени и значительной погрешностью результата. Полученные при этом данные для управления процессом производства перестают быть актуальными (эффект чистого запаздывания).

Обзор и анализ работ, посвященных этой проблеме [21, 25, 29, 31, 32, 34, 37, 39, 45, 50, 55, 58] выявил, что к настоящему времени отсутствуют устройства автоматического контроля этого важного показателя в режиме реального времени. Поэтому была *поставлена задача разработки такого цифрового датчика на базе использования интеллектуальных технологий*.

2. Угол естественного откоса сыпучих масс (сырья и готовой продукции)

Угол естественного откоса является одной из ключевых структурно-механических характеристик сыпучести сырья и готовых изделий, входящий в ряд ГОСТов на кондитерскую продукцию. Важность данного показателя объясняется, с одной стороны, простотой и наглядностью измерений, с другой – комплексным характером этой величины. Данный показатель одновременно связан с аутогезией, внутренним трением и плотностью частиц сыпучего материала. Он дает непосредственное представление о текучести сыпучей массы в состоянии свободной насыпки. Определение данного показателя в настоящее время осуществляется с использованием лабораторных приборов. Полученные данные не возможно использовать в ИСАКиУ. Обзор и анализ работ, посвященных этой проблеме [25, 29, 32, 34, 37, 39, 45, 50, 55, 58], показал, что приборов автоматического контроля данного показателя в режиме реального времени в других отраслях промышленности нет. Учитывая эти данные, была *поставлена задача разработки средства автоматического контроля в потоке угла естественного откоса*.

3. Внешний вид сырья и готовой кондитерской продукции

Внешний вид сырья– это органолептический показатель качества, включенный в ГОСТ на кондитерские изделия, который содержит определение целостности сырья, его цвет, форму и размер (для сыпучих масс) [25, 29, 32, 60, 61].

Внешний вид готовых изделий, также включенный в ГОСТ на кондитерскую продукцию, содержит определение следуюих показателей качества: цвет, форма, размер, состояние поверхности, в том числе блеск или текстура поверхности [25, 27, 31, 34, 37, 39, 60, 61].

Как отмечалось ранее, оценку внешнего вида сырья и готовой продукции осуществляют в настоящее время эксперты в лабораториях кондитерских предприятий с использованием визуального контроля и применения сенсорных методов. Приборов автоматического контроля этих показателей качества сырья и готовых изделий в режиме реального времени нет. Обзор и анализ существующих инструментальных методов и средств контроля этих показателей качества в фармацевтической, горной, строительной, металлургической и др. отраслях промышленности показал не целесообразность использования имеющихся лабораторных автоматических средств определения внешнего вида в ИСАКиУ качеством кондитерских изделий. Поэтому была поставлена задача разработки таких устройств на базе использования интеллектуальных технологий. Подробно данные исследования описаны в наших работах [25, 27, 29, 31, 32, 34, 37, 39, 45, 50, 55, 58].

4. Консистенция кондитерских масс

Одним из основных показателей качества кондитерских масс, входящим в ГОСТ на кондитерские изделия, являетя консистенция. Обзор и анализ работ, посвященных методам и приборам для определения консистенции [1, 7, 18, 25, 34, 37, 39, 41 43 49 55 62 122 144 154 170], показал, что существующие приборы для определения консистенции кондитерских масс не отвечают современным требованиям и не могут обеспечивать стабилизацию качества готовой продукции, определение данного показателя проводится в лабораториях и требует дли-

тельного времени на проведение исследования, стабилизацию температуры и обработку полученных данных. Приборов автоматического контроля этого показателя качества, работающих в режиме реального времени нет. Проведенный нами обзор и анализ существующих современных инструментальных методов и средств контроля консистенции в других отраслях промышленности (фармацевтической, горной, строительной, металлургической и др.) показал отсутствие средств контроля консистенции, работающих на линиях производства в режиме реального времени. Поэтому была *поставлена задача разработки на базе использования интеллектуальных технологий автоматических приборов контроля консистенции.* Подробно данные исследования описаны в наших работах [25, 27, 29, 31, 32, 34, 37, 39, 45, 50, 55, 58].

5. Вязкость кондитерскиъ масс

Анализ проведенных нами теоретических и экспериментальных исследований, представленных в настоящей работе, показал, что наиболее полно состояние ТП приготовления МКМ на всех этапах производства отражают реологические характеристики (свидетельство о государственной регистрации базы данных №2024626158 «Реологические показатели качества современной кондитерской продукции» [224]), которые тесно связаны со структурой вещества и хорошо реагируют на изменения в молекулярном строении исследуемой массы в процессе ее переработки. Среди реологических характеристик наиболее информативным, наиболее значимым параметром является вязкость.

Проведенный нами обзор и анализ работ, посвященных этой проблеме [1, 2,6,7,10,11,12,18,21,31,34,37,39,41,58,62, 106, 122,138, 141, 142, 144, 145, 154, 170, 173, 184 – 189, 195, 202 ,208, 209, 216, 221, 223], выявил, что к настоящему времени в пищевой промышленности для определения вязкости применяются лабораторные приборы и отсутствуют устройства автоматического контроля вязкости в режиме реального времени. Поскольку для реализации ИСАКиУ необходима полная, объективная, достоверная и своевременная информация о состоянии ТП производства продукции, нами была, *поставлена задача разработки на*

базе интеллектуальных технологий устройств автоматического контроля вязкости в режиме реального времени работающиих на линиях производства.

6. Вкус

Еще одним важнейшим органолептическим показателем качества кондитерской продукции, входящим в ГОСТ на кондитерские изделия, является вкус. В 1 главе п.1.4. было отмечено, что в настоящее время контроль вкуса сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции производится в лабораториях кондитерских предприятий сенсорными методами экспертами технологами на основе дегустационного контроля, что не позволяет использовать полученные результаты для создания ИСАКиУ. При формулировании задачи автоматизации контроля вкуса проведен обзор и анализ новых методов, разработанных для решении аналогичных задач в различных отраслях промышленности.

Попытки воспроизведения органов определения вкуса человека с применением физико-химических методов и электронных устройств предпринимались многими исследователями. Из множества решений, описанных в различных источниках [11, 12, 24, 25, 28, 60, 61, 194, 245, 246 и др.], наиболее объективными являются методы газо-жидкостной хроматографии, а также методы, основанные на действии пьезорезонансных и потенциометрических сенсоров. Многие инструментальные методы анализа вкуса основаны на использовании различных химических сенсоров, принцип действия которых заключается в превращении аналитического сигнала, возникающего в результате химической реакции аналитической пробы с реагентами, в физический сигнал в реальном масштабе времени. Однако это лабораторные приборы.

Информация о вкусе пищевого сырья может быть также получена косвенно на основе сведений о его плотности, коэффициенте преломления, направлении поляризации и растворимости в разбавленном этиловом спирте [12, 24, 28, 61, 245].

Эффективным инструментом исследователей и специалистов по контролю вкуса стали методы испытаний на основе сочетания газожидкостной хроматографии и масс-спектрометрии с компьютерной обработкой результатов. Однако, результаты и здесь требуют их подкрепления органолептической оценкой. То есть необходимо подтверждение данных инструментальных методов результатом органолептического испытания, выполненного в лабораторных условиях.

В лаборатории химических сенсоров Санкт-Петербургского государственного университета был разработан прибор для оценки вкуса, получивший название «электронный язык» [12, 28, 61]. Принцип действия прибора основан на использовании потенциометрических химических сенсоров. Сенсоры измеряют потенциалы, возникающие при погружении их чувствительных элементов в исследуемую среду. Полученные отклики поступают на многоканальное электронное измерительное устройство, которое представляет собой прибор, состоящий из блока высокоомных вольтметров, АЦП и платы-контроллера для передачи данных в компьютер. Для обработки принятой компьютером информации используется аппарат искусственных нейронных сетей (НС). На выходе получается количественная или качественная информация о вкусе исследуемого образца. Описанное устройство позволяет измерять значения вкуса только жидких образцов. Однако, это лабораторный прибор автоматического контроля вкуса. Для использования «электронного языка» необходимо подготавливать пробу для анализа, которая занимает определенное время и делает невозможным использование данного метода в поточной линии производства кондитерской продукции.

Разработкой методов автоматического контроля вкуса пищевых продуктов в потоке с использованием нейросетевых технологий занимались ученые кафедры «Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами» ФГБОУ ВПО «РОСБИОТЕХ». Ими разработаны и апробированы виртуальные датчики контроля в потоке вкуса пищевых масс с использованием нейросетевых технологий. Показана перспективность их использования в усло-

виях действующих предприятий кондитерской, мукомольной, молочной и пивобезалкогольной промышленности [12, 21, 22, 24, 61, 194, 245, 246], но требуется дальнейшее развитие этих методов и средств.

7. Запах

Значимым органолептическим показателем качества кондитерской продукции, входящим во все ГОСТы, является запах. В настоящее время контроль запаха сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции производится сенсорными методами экспертами технологами с помощью обоняния, что не позволяет использовать полученные результаты для создания ИСАКиУ.

При формулировании задачи автоматизации контроля запаха, проведен обзор и анализ новых методов, разработанных для решении аналогичных задач в различных отраслях промышленности. Проведенные исследования показали, что получили распространение приборы на базе пьезорезонансных сенсоров, использующихся для определения ароматобразующих веществ в некоторых пищевых продуктах, таких как кофе, коньяк, хлебобулочные изделия и др. Однако при использовании данных приборов для следующего цикла измерения требуется применение промывочного агента (например, пары этилового спирта) с целью удаления пахучего вещества с поверхности активной части материала сенсора. Поэтому предлагаемый метод для автоматического контроля запаха многокомпонентных кондитерских масс в потоке в реальном времени не применим.

Анализ других имеющихся исследований выявил, что в качестве метода автоматического контроля запаха , например, ликерных конфет, можно использовать электронный нос, который позволяет сформировать массив сенсоров анализатора газов «МАГ-8» для измерения состава легколетучей фракции аромата полуфабрикатов кондитерского производства (кондитерская глазурь, сливочная, ореховая и шоколадная начинки) [28]. Однако, электронный нос —*лабораторный* прибор, предназначенный для определения запахов или привкусов. Эти устройства используются только в лабораториях предприятий. Для использования «электронного носа» необходимо в лабораториях подготавливать

пробу для анализа, которое занимает определенное время и делает невозможным использование данного метода в поточной линии производства кондитерской продукции.

Также для ИСАКиУ невозможно использовать достаточно современные методы и способы объективной инструментальной дегустации аромата, распознавание искусственного и натурального аромата конфет, разработанные лабораторией инновационно-технологического центра группы компаний «СОЮЗСНАБ» по программе «электронный флейворист», поскольку эти методы и способы предназначены для работы в лабораториях предприятий и требуют тщательной подготовки проб.

Фирмой PCA Technologies Sri, Италия [28] создан электронный нос для отслеживания различных запахов по принципу «отпечатков пальцев». Основная область применения данного прибора – охрана окружающей среды или экологический мониторинг (PEN3-Meteo). Но это также лабораторный автоматизированный прибор, который нельзя использовать на производстве в потоке.

Анализатор OlfoSense - это новый «электронный нос» для мониторинга окружающей среды, позволяет мониторить в режиме реального времени запах (единицы запаха/м3) окружающей среды [28]. Главной задачей данного электронного носа является создание единой Сети управления и контроля по периметру заводов или территорий, подверженных загрязнению, путем установки нескольких аналогичных приборов. Данные о запахе передаются в диспетчерскую через Wi-Fi. Возможно задание уровней порогов для контроля уровня превышения запаха. Прибор является лабораторным и его использование в ИСАКиУ не представляется возможным. Поэтому была *поставлена задача разработки такого цифрового датчика контроля запаха в режиме реального времени* на базе использования интеллектуальных технологий.

8. Цвет сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции

Цвет является важным органолептическим показателем качества кондитерской продукции, входящим во все ГОСТы на кондитерские изделия.

В настоящее время контроль цвета сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции производится сенсорными методами экспертами технологами с помощью визуальной оценки, что не позволяет использовать полученные результаты для создания ИСАКиУ.

Нами проведен обзор и анализ новых методов и способов, разработанных для решении аналогичных задач в различных отраслях промышленности [1 - 4, 7, 9, 11, 12, 22, 23, 25, 27, 32, 35, 46, 50, 67 – 69, 78, 79, 91, 92, 111, 119, 141-145, 156- 158, 254 и др.]. В настоящее время для определения цвета все чаще применяют различные физико-химические методы анализа: рефрактометрический, спектрофотометрический и др. методы, которые позволяют с помощью лабораторных приборов отслеживать изменение цвета на этапе подготовки сырья к дальнейшему производству и косвенно по полученным данным судить о качестве подготовленного к производству сырья [9, 25, 60, 61, 221, 222]. Следует отметить методы, нашедшие широкое применение в пищевой промышленности для косвенного контроля цветности: люминесцентный анализ, микроскопия, газовая хроматография, жидкостная хроматография, атомно -абсорбционная спектрометрия, фотометрия, капиллярный электрофорез, инфракрасная спектроскопия, электрохимия, классические методы анализа (титриметрия, гравиметрия).

В монографии А.Е. Краснова и др. [143] показана возможность создания недорогого и мобильного малогабаритного прибора для оперативного контроля цвета продуктов питания, пригодного как на производстве, так и в быту. Предложено применение для этой цели нового класса спектрометров, построенных на эснове видеокамеры с черно-белой ПЗС- матрицей и светодиодов. При этом за основу взят опыт спектрозональной аэрокосмической съемки. В монографии [12] описаны современные перспективные экспресс- методы оперативного контроля качества продуктов питания, которые разрабатываются в РФ и за рубежом.

Анализ существующих средств контроля цвета показал, что применяемые методы и приборы для контроля цветности являются, в основном, автоматизиро-

ванными лабораторными приборами для экспресс- контроля пищевых сред и готовых продуктов, требующими время на подготовку проб и проведение анализов.

В тоже время, вызывают интерес разработки ученых кафедры «Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами» ФГБОУ ВПО «РОСБИОТЕХ» на основе методов автоматического контроля в потоке цвета пищевых продуктов с использованием систем компьютерного зрения (помадные конфеты, творог, гранулированные комбикорма, мука, квас, сливочное масло и т.д.) [11, 12, 25, 60, 61, 123, 124, 134, 154, 155, 187, 188, 199, 200, 204, 205, 221, 222]. Показана эффективность и перспективность их использования на предприятиях кондитерской, мукомольной, молочной и пивобезалкогольной промышленности, но требуется дальнейшее развитие этих методов и средств и апробация на кондитерской продукции разной структуры.

9. Форма кондитерских изделий и блеск поверхности этих изделий

Весомыми органолептическими показателями качества кондитерской продукции, входящим в ГОСТы на кондитерские изделия, являются форма кондитерских изделий и блеск поверхности этих изделий.

В настоящее время контроль этих показателей осуществляется сенсорными методами экспертами технологами с помощью визуальной оценки, что не позволяет использовать полученные результаты для создания ИСАКиУ.

Проведенный обзор и анализ работ в данной области показал отсутствие высокоэффективных интеллектуальных средств автоматизации контроля этих органолептических показателей качества. Поэтому была *поставлена задача разработки приборов автоматического контроля формы кондитерских изделий и блеска поверхности этих изделий* с использованием ИТ.

Таким образом, проведенные исследования показали необходимость разработки и внедрения интеллектуальных средств автоматического контроля органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых конфет и создания на их базе ИАСКиУК.

3.4. Автоматизация контроля в потоке основных органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий

3.4.1. Постановка задачи автоматического контроля в потоке органолептических показателей качества кондитерской продукции в процессе производства

В связи с невозможностью автоматического контроля качества сырья (входной координаты), полуфабрикатов и готовой продукции (выходной координаты) в потоке традиционными средствами сформулируем первостепенную задачу для создания ИСУ качеством: *разработка методов и способов автоматизации контроля в режиме реального времени основных органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции с применением гибридных интеллектуальных систем и технологий.*

3.4.2. Автоматизация контроля коэффициента извлечения примесей в сырье (на примере семян подсолнечника)

Как известно из проведенных нами исследований (п.п.1.4 и 3.2), одним из важнейших показателей качества сырья для производства кондитерской продукции является коэффициент извлечения примеси (например, в семенах подсолнечника, орехов, какао бобов, сахара песка и др.), который в настоящее время рассчитывается и затем анализируется в лабораториях кондитерских предприятий. На определение этого показателя затрачивается достаточно большое количество времени [25]. И поэтому эта характеристика для управления процессом производства кондитерской продукции перестает быть актуальной (эффект чистого запаздывания). В таких случаях оператор, основываясь на своем опыте, обеспечивает путем ручного управления рациональный режим ведения процесса подготовки сырья [29]. Автоматизация контроля данного органолептического показателя качества сырья даст возможность формализовать процесс производства кондитерской продукции и использовать получаемые цифровые сигналы для целей управления.

Поставленная задача разработки методов и средств автоматизации контроля в потоке коэффициента извлечения примесей в сырье (на примере семян подсолнечника) решалась с использованием системы компьютерного зрения (СКЗ) [25, 29, 31, 32, 34, 37, 46, 47, 50, 52, 55].

Как известно, компьютерное зрение— это область искусственного интеллекта, связанная с анализом изображений и видео. Она включает в себя набор методов, которые наделяют компьютер способностью «видеть» и извлекать информацию из увиденного [25]. Системы компьютерного зрения (СКЗ) состоят из фото- или видеокамеры и специализированного ПО, которое идентифицирует и классифицирует объекты. Они способны анализировать образы (фотографии, картинки, видео, штрих-коды), а также лица и эмоции [85, 151, 160, 198 и др.].

Чтобы научить компьютер «видеть», используются технологии машинного обучения. Собирается множество данных, которые позволяют выделить признаки для дальнейшей идентификации и анализа. Существуют функции типичные для многих СКЗ [83, 86, 94, 166, 175, 183, 220, 244].

Компоненты СКЗ.

Основными компонентами СКЗ являются: подсистема формирования изображений; вычислитель; алгоритмы анализа изображений, которые могут реализовываться программно на процессорах общего назначения, аппаратно в структуре вычислителя и даже аппаратно в рамках подсистемы формирования изображений. СКЗ является ключевой технологией, имеющей следующие направления развития: распознавание лиц, эмоций; распознавание объектов или предметов по фото; дополненная реальность; распознавание рукописного, печатного или машинописного текста. Таким образом, СКЗ обеспечивает множество различных преимуществ и его использование для автоматизации контроля в потоке коэффициента извлечения примесей в сырье повысит эффективность ТП производства кондитерских изделий.

Анализ работ в области автоматизации контроля показал, что СКЗ для визуального контроля и управления ТП начинают распространяться в различных

отраслях пищевой промышленности. В частности, Ивановым Я.В., Карелиной Е.Б., Савостиным С.Д., Благовещенским И.Г., Благовещенской М.М., Петряковым А.Н. и др. СКЗ использовались для автоматического контроля в потоке различных показателей качества пищевых продуктов (белизна муки, влажность творога, цвет сливочного масла, помадных конфет, кваса и др.) [25, 60, 61, 216].

Эффективность методов зависит от технического обеспечения СКЗ, степени приспособленности линий производства продукции к месту монтажа и расположения системы в потоке производства. Нами была исследована возможность использования высокоэффективных методов объектно- ориентированных языков программирования в СКЗ для автоматического контроля в потоке коэффициента извлечения примесей при сепарировании семян подсолнечника. Были проанализированы возможные области использования существующих библиотек СКЗ [200 - 203], всесторонне рассмотрена возможность применения методов и шаблонов проектирования объектно-ориентированных языков программирования в СКЗ в качестве инструмента определения органолептических показателей качества сырья и готовой продукции на примере подсолнечной халвы.

Для реализации такой СКЗ были проведены исследования по рациональному техническому обеспечению этой системы. Типовая СКЗ состоит из одной или нескольких, фото-или цифровых видеокамер (ЦВК), системы передачи данных в компьютер и компьютера для системы обработки данных [25, 199]. Проведенные нами исследования [39] показали, что угол обзора в 70 мм оптимально подходит под использование в качестве анализа широкой конвейерной ленты производства разнообразной кондитерской продукции. Затем была выбрана оптимальная точка размещения цифровой видео камеры и источников освещения на производстве.

Очень важна и программная составляющая СКЗ, а именно, программная архитектура обеспечения подготовки изображений к обработке (для аналоговых камер — оцифровщик изображений). Еще один немаловажный параметр – это светосила объектива, которая обозначается параметром f(n), где n – показатель

относительного отверстия. В качестве примера можно рассмотреть два объектива с показателями f(2.0) и f(4.5), где соответственно первый объектив имеет гораздо большую светосилу. Большая светосила объектива характеризует количество света, попадающего на светочувствительную матрицу камеры. Соответственно, чем больше у объектива светосила – тем больше деталей можно зафиксировать на одной и той же камере, по сравнению с объективом с меньшей светосилой, при одинаковой экспопаре (совокупность установленных значений диафрагмы и выдержки). Оба эти параметра влияют на экспозицию и на результат фотосъёмки при освещении. В качестве последней значимой характеристики объектива можно рассмотреть его резкость – способность четко фокусироваться на объекте исследования. Чем больше у объектива параметр резкости, который характеризуется линиями/дюйм, тем в результате изображение будет более четким. Стоит отметить, что у объектива имеется такой параметр, как дистанция фокусировки – это минимальные и максимальные расстояния расположения объекта от объектива, на которых объект будет виден максимально резко. В противном случае изображение имеет нерезкий вид, с размытыми краями. Такое изображение при последующей обработке в СКЗ недопустимо. Проведенные исследования показали, что, как правило, на кондитерских предприятиях в СКЗ используются объективы фиксированного фокусного расстояния.

Были также проанализированы основные характеристики цифровой камеры, такие как светочувствительность ПЗС-матрицы, ее фактические размеры, а также размер и количество пикселей. Проведенные исследования [25 - 27, 29, 31, 32] показали, что при работе СКЗ параметр светочувствительности рекомендуется выставлять на максимально низкий показатель для избегания шумов. Но при этом следует установить осветительную систему достаточной мощности. Фактические размеры ПЗС-матрицы – очень важный, с точки зрения экономической части, параметр, поскольку чем больше ПЗС-матриц установлено в камере, тем больше ее стоимость. Поэтому при наладке СКЗ необходимо правильно вы-

бирать цифровую камеру, т.к. при сравнении двух камер с разным размером матрицы, но одинаковым числом пикселей – будет выигрывать камера с большим размером одного пикселя, как единицы, восприимчивой к свету.

Следующим ключевым звеном любой СКЗ являлась подсветка. Существует большое количество различных видов подсветок, различающихся как по технологии изготовления, так и по принципам монтажа. Стоит отметить, что на кондитерских фабриках чаще всего используется светодиодная подсветка с регулируемой яркостью и матовыми кофрами для равномерного освещения всей технологической линии. Также существенным преимуществом светодиодной подсветки является крайне низкое потребление электроэнергии и долгий срок службы. Равномерность освещения необходима для дальнейшей правильной работы алгоритмов обработки получаемых изображений. Резкое освещение влечет за собой резкие тени, которые могут сказаться на работе алгоритмов.

Поскольку на сегодняшний день существуют «цветные» камеры, которые снимают в видимом диапазоне, а также «черно-белые» камеры, которые снимают в градациях серого, стоит отметить, что все чаще начинают внедряться камеры, снимающие в ближнем и редко в других инфракрасных диапазонах. Обзор научных материалов по данному вопросу показал, что камеры видимого цветового диапазона – применяются, в основном, на производствах, где необходим контроль качества каких-либо цветных изделий. Например, на упаковочной линии, при маркировке изделий, при определении качества прокраски изделий и т.д.

Поскольку при переводе изображения из RGB формата в градации серого можно получить 4 различных черно-белых изображения по каждому из цветовых каналов, то применяются камеры, снимающие в градациях серого в несжатых форматах, что позволяет в дальнейшем алгоритмам работать с максимально натуральным изображением. И выделять значимые участки на изображении. Стоит отметить, что большинство промежуточных операций алгоритмов обработки изображений работают либо с бинаризированными изображениями, либо

с изображениями в градациях серого. Инфракрасные камеры – позволяют получить изображение пространства или исследуемого объекта в инфракрасном диапазоне. Преимущество инфракрасных камер состоит в том, что широкий инфракрасный диапазон способен снимать даже нагретые предметы, определять температуру объекта, а также улавливать и снимать в некотором диапазоне не видимые человеческому глазу дефекты продукции [3].

По результатам проведенных исследований [25 - 27, 29 – 32, 34, 37, 39, 46 - 51, 55] был сделан вывод, что на сегодняшний день применение СКЗ очень эффективно. И эти системы могут быть использованы в абсолютно любом кондитерском производстве, для контроля качества как процессов, так и продукции. Поэтому подключение ЦВК и модуля сбора данных, хранения и принятия решения в ИСАКиУК кондитерской продукции для автоматизации контроля в потоке коэффициента извлечения примесей и внешнего вида семян подсолнечника не вызывает особых вопросов: необходим выбор цифровой видеокамеры и изучение технического паспорта, который обычно прилагается к ней. Выбранная нами серия СКЗ «Омрон Электроникс» включает в себя различные фотокамеры, которые различаются по техническим характеристикам, такими как – скорость съемки, разрешение кадра, светочувствительность, динамический диапазон и пр. С учетом этих характеристик был выбран наиболее рациональный вариант СКЗ под нужды именно производства кондитерской продукции.

Анализ полученных в процессе проведенных исследований данных показал, что в проектируемых ИСАКиУ все чаще используют видеокамеры с микропроцессорами, которые способны работать как интеллектуальные датчики. Это показывает огромные перспективы в развитии автоматизации контроля и управления процессами производства кондитерской продукции. Большая перспектива таких видеокамер заключается в возможности подключения к каналу Ethernet, быстрой скорости обработки кадров и их дешёвой стоимостью. Способность ин-

теллектуальных датчиков адаптироваться к условиям эксплуатации и непрерывно оптимизировать свою чувствительность, приводит к повышению эффективности производства при решении системой поставленных задачах.

На основании проведенных исследований по техническому обеспечению автоматического контроля коэффициента извлечения примесей при подготовке сырья к производству кондитерской продукции использовалось следующее оборудование: видеокамера SONY FDR-AX700, осветительные приборы - светодиодная панель Falcon Eyes Flat LED, штатив QZSD Q303, персональный компьютер, имеющий следующие характеристики, влияющие на производительность работы: процессор Intel Core i5-9600KF, оперативная память 8gb.

Предлагаемая к использованию в линии производства кондитерской продукции ЦВК имеет следующие характеристики: максимальное разрешение матрицы 640x480 пикселей, максимальное количество кадров, производящееся в секунду − 187. Тестирование работы алгоритмов СКЗ проводилось при помощи специального программного обеспечения, написанного на языке программирования ActionScript 3.0 в среде разработки FlashDevelop. Помимо этого, была использована библиотека OpenCV для языка программирования Java. Данная библиотека использовалась для расчета алгоритмов бинаризации, размывания (erode) и растягивания (dilate). Стоит отметить, что язык Java относится к так называемым объектно-ориентированным языкам программирования высокого уровня.

При разработке программы для автоматического контроля в потоке коэффициента извлечения примесей при сепарировании семян подсолнечника (рисунок 3.2) использовалась библиотека OpenCV (Open Computer Vision). В данной библиотеке ключевым используемым классом был класс Mat, который является трехмерной матрицей с большим количеством дополнительных параметров.

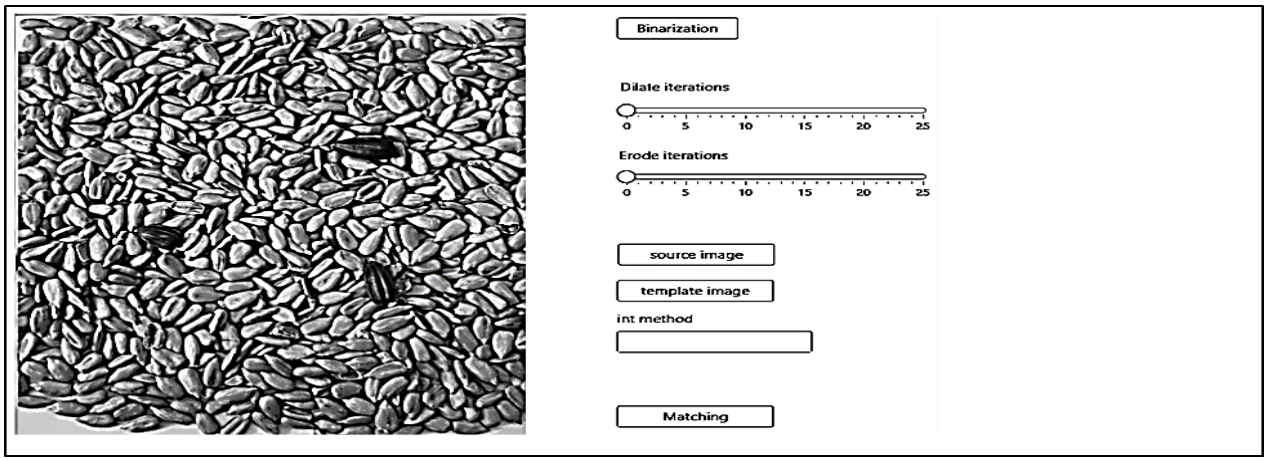


Рисунок 3.2 - Фрагмент программы для обработки изображения

Класс Mat используется для хранения изображений. При каждой итерации алгоритма для нового изображения создается новый экземпляр класса Mat, в котором содержится информация о новом изображении.

Помимо всего прочего, интерфейс программы реализован при помощи библиотеки JavaFX, где каждый элемент также представляет собой экземпляр определенного класса интерфейса. Например, класс Button реализует экземпляры кнопок. В окне программы может находится множество кнопок, каждая из которых является экземпляром класса Button, но с разными параметрами, такими как высота, ширина, цвет, градиент, текст и пр. Аналогично можно сказать про ползунки-слайдеры, при перемещении которых можно изменять параметры методов бинаризации. При передвижении ползунка вызывается метод moveSliderErode, либо moveSliderDilate, которые изменяют локальные значения переменных для алгоритмов Erode и Dilate. И таким образом Java работает с объектами.

При обработке полученного кадра, в первую очередь, поступившее изображение сырья заносится в оперативную память. Затем клонируется. Это необходимо для возможности возврата к исходным данным. В случае некорректного результата работа по промежуточным вычислениям продолжается. Затем производится бинаризация изображения, т.е. производится операция, которая конвертирует исходное изображение градации серого в изображение, состоящее только

из белых (#FFFFFF), либо из черных (#000000) пикселей. Суть операции бинаризации заключается в том, чтобы отсеять ненужную для работы информацию в изображении. Это позволяет упростить последующие операции. Важно отметить, что алгоритм бинаризации на примере алгоритма Брэдли имеет ряд входных параметров, которые необходимо правильно подбирать под конкретную задачу. В противном случае результат может привести к искажениям изображения. Рассмотренный алгоритм был использован для проведения операции по контролю коэффициента отделения примесей при сепарировании семян подсолнечника. При проведении этой операции символы (семена подсолнечника) были отделены от фона на изображениях. Также проведена операция по отсечению изображения от шума, теней, полутонов, бликов и информационного мусора. Результат работы алгоритма бинаризации представлен на рисунке 3.3.

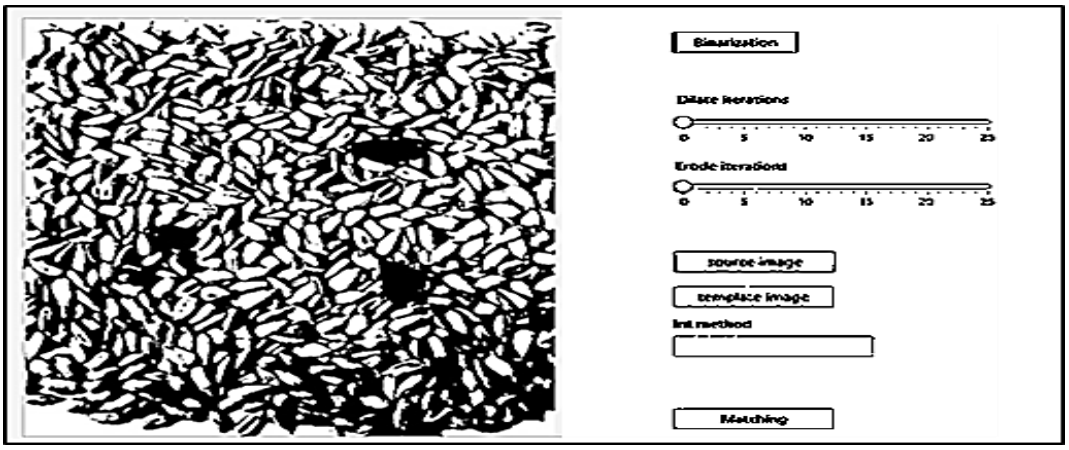


Рисунок 3.3 - Бинаризация изображения

После оптимального подбора пороговых значений бинаризации были выполнены операции размывания (erode) и растягивания (dilate). Результат работы данных алгоритмов представлен на рисунке 3.5.

Как видно на рисунке 3.4, на месте расположения неочищенных семян подсолнечника появились черные прямоугольники, совпадающие с позицией шелухи неочищенных семян подсолнечника.

Данную информацию можно использовать для подсчета количества неочищенной продукции в кадре и автоматического определения коэффициента извлечения примесей.

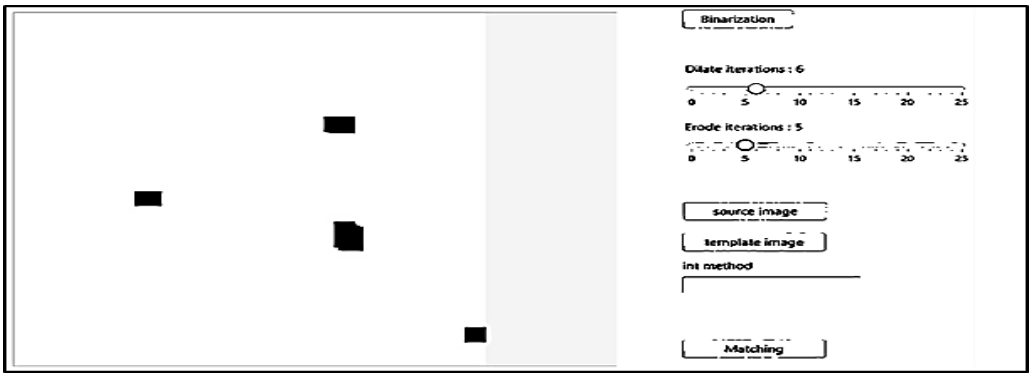


Рисунок 3.4 - Результат применения методов Erode и Dilate

На основании проведенных исследований были определены оптимальные места монтажа и расположения СКЗ, например, в линии производства подсолнечной халвы.

Проведенные исследования показали, что камеру необходимо располагать над конвейерной линией на участке производства после процесса сепарирования сырья, так как необходимо осуществлять контроль качества именно непосредственно при выходе семян подсолнечника из сепаратора. Камера должна быть ориентирована таким образом, чтобы плоскость матрицы сенсора располагалась параллельно плоскости конвейерной линии (рисунок 3.5). Пунктирными линиями обозначено пространство, попадающее в область видимости камеры. Проведенные исследования показали, что ЦВК следует устанавливать таким образом, чтобы изображение конвейерной линии занимало всю область видимости камеры.

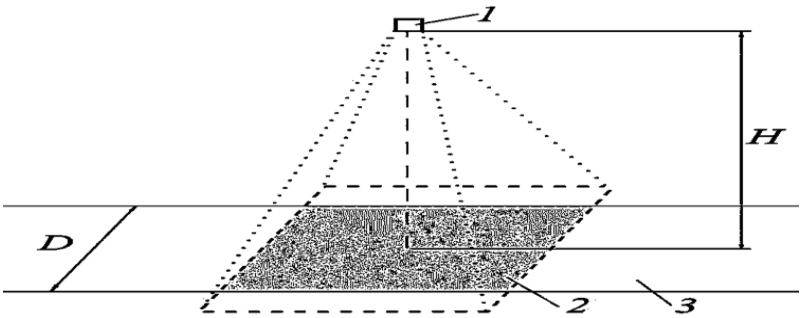


Рисунок 3.5 - Схема расположения видеокамеры 1 над конвейерной линией 3.

H – расстояние от видеокамеры до конвейерной линии, *D* – ширина конвейерной линии, *1* – видеокамера, *2* – область конвейерной линий, попадающая в зону видимости камеры, *3* – конвейерная линия производственного процесса.

В случае, если такая установка камеры над конвейерной линией не возможна из-за технических особенностей производства, то необходимо использовать дополнительные возможности для калибровки – отступы. Если камера с заданным углом обзора расположена таким образом, что изображение конвейерной линии занимает часть кадра, то необходимо подобрать такие отступы l_1 и l_2, чтобы значения переменной K соответствовали ширине конвейерной линии. Данная операция необходима для того, чтобы алгоритмы программы использовали для обработки только область, ограниченную расстояниями l_1 слева и l_2 справа (рисунок 3.6), где W – ширина изображения, H – высота изображения в пикселах, пунктирными линиями абстрактно изображена конвейерная линия.

Введение подобных отступов позволяет использовать видеокамеры, конструктивно не имеющие возможность изменения угла обзора, а также видеокамеры, встроенное ПО которых не позволяет осуществлять выбор точки съёмки, ракурса и направления фотосъёмки получаемого изображения.

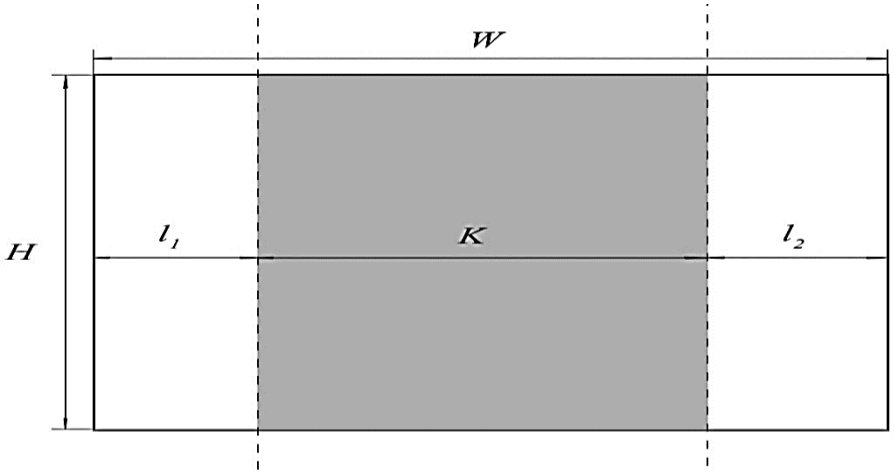


Рисунок 3.6 - Калибровка отступов

Зная, что разрешение матрицы видеокамеры составляет N пикселей в ширину, а ширина области мониторинга на конвейерной линии составляет K миллиметров, то расчет эквивалентности одного пикселя на миллиметр можно рассчитать по следующей формуле:

$$1px = \frac{K}{N} \tag{3.1}$$

Имея показатели относительной длины отрезков l_{MN} и l_{EH}, которые выражены в пикселях, можно рассчитать значения ширины l_W и длины l_H семян подсолнечника в миллиметрах по следующей формуле:

$$l_w = l_{MN} \times \frac{K}{N} \tag{3.2}$$

$$l_H = l_{EH} \times \frac{K}{N} \tag{3.3}$$

Полученные значения длины и ширины семян подсолнечника в мм заносятся в базу данных ПО для последующего анализа, сравнения с эталонными показателями и формирования банка данных количества брака (% извлечения примесей) и % получения продукции надлежащего качества. Разработан аналитический автоматизированный алгоритм расчета коэффициента извлечения примесей.

Анализ полученных результатов показал эффективность использования методов и шаблонов проектирования объектно-ориентированных языков программирования в СКЗ в качестве инструмента автоматизации контроля такого важного органолептического показателя качества сырья, как коэффициент извлечения примесей в сырье. На рисунке 3.7 показана структурная схема СКЗ для автоматизации контроля в потоке коэффициента извлечения примесей в сырье. Подробное описание схемы приведено в нашей работе [25].

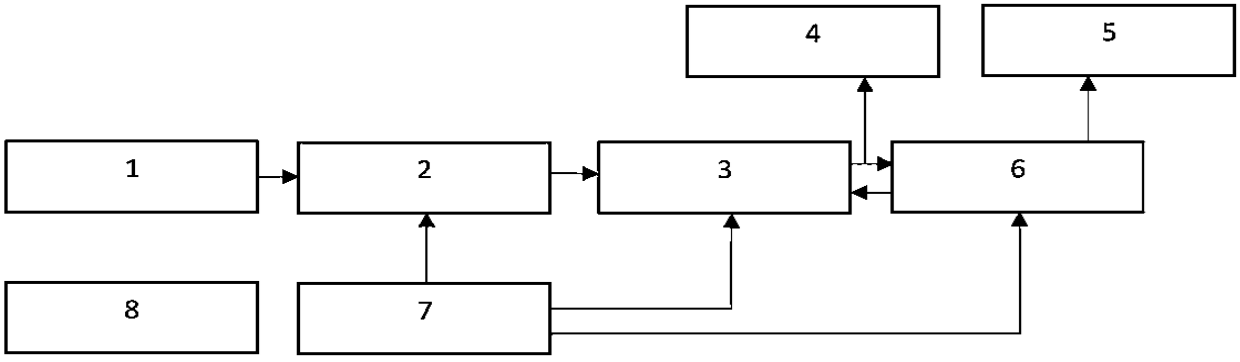


Рисунок 3.7 - Схема СКЗ для автоматизации контроля в потоке коэффициента извлечения примесей в сырье

Для решения поставленной задачи была использована, не только СКЗ, но

и ИНС. Нейронная сеть, которая использовалась для контроля примесей в сырье, является сверточной нейронной сетью. На рисунке 3.8 показан пример архитектуры использованной сверточной нейронной сети.

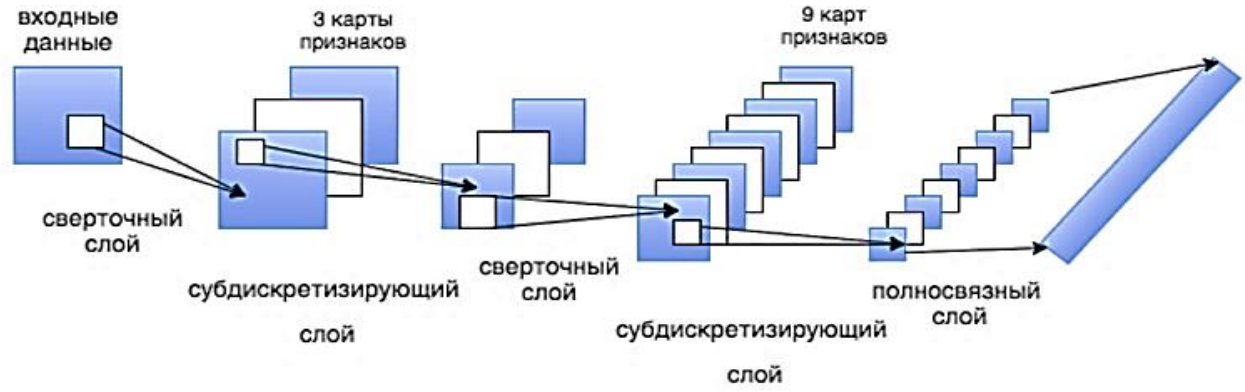


Рисунок 3.8 - Пример архитектуры сверточной нейронной сети

Свёрточная нейронная сеть, показанная на рисунке 3.9, предназначена для эффективного распознавания изображений. Свое название сверточные сети получили из-за присутствия операции свёртки, суть которой заключается в вычисление 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, 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 датасет фотографий семян подсолнечника с разным включением примесей, представленный на рисунке 3.9. Разработан алгоритм обработки изображений и классификации по величине засоренности.

Так как качество определения во многом зависит от набора обучающих изображений был использован метод расширения данных, который позволил увеличить этот набор, путём сдвига или поворота первоначальных изображений.

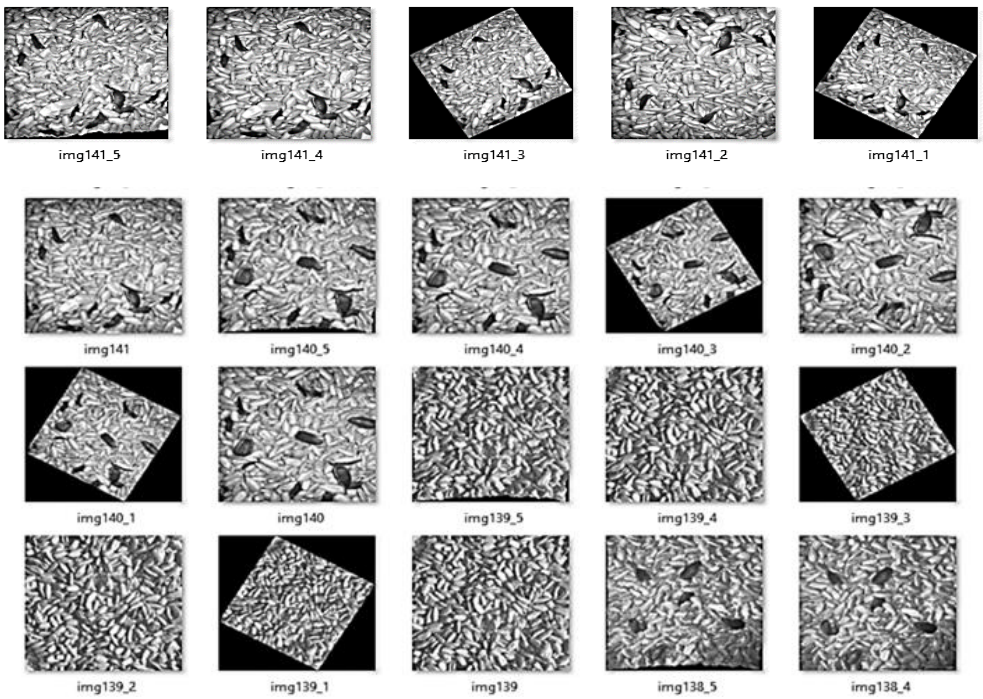


Рисунок 3.9 - Датасет фотографий семян подсолнечника с разным включением примесей для обучения нейронной сети

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

Анализ проведенных исследований показал, что СКЗ работает с визуальной информацией, обработав которую, система получает данные, передающиеся в дальнейшем в модуль автоматического контроля органолептических показателей (АКОП), входящий в ИСАКиУК кондитерской продукции 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 ИСАКиУК. Полученные данные показали перспективность использования методов объектно- ориентированных языков программирования в СКЗ совместно с использованием нейронной сети для автоматического контроля в потоке коэффициента извлечения примесей в сырье. На разработку «Про-

грамма мониторинга извлечения примесей при сепарировании семян подсолнечника» было получено свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ RU № 2025619028, 14.04.2025 «Программа мониторинга извлечения примесей при сепарировании семян подсолнечника» /Благовещенский В.Г., Благовещенский И.Г., Кротов И.В.// Заявка № 2025616939, 27.03.2025;

Подробно данные исследования приведены в наших работах [25, 29, 32].

3.4.3. Автоматизация контроля в потоке внешнего вида сырья (на примере семян подсолнечника) с использованием гибридных методов и технологий

Всё более актуальной становится такая функция СКЗ, как распознавание изображений для оценки внешнего вида сырья (рассмотрим на примере семян подсолнечника). *Целевые задачи таких СКЗ:* калибровка сенсоров, самоориентация, самопозиционирование; обнаружение объектов и изменений в сцене наблюдения; слежение за объектами; контроль поверхностей и структур; организация зрительной обратной связи при работе управляемых устройств, манипуляторов или мобильных роботов в изменчивой среде.

Требования, предъявляемые к методам и алгоритмам СКЗ:

- Робастность (связана с изменчивостью изображений, полученных в реальных условиях). Вычислительная реализуемость.
- Точность (данные алгоритмы должны обеспечивать точную локализацию объектов, которые подлежат обнаружению).

Компьютерное зрение работает в три основных этапа:

- Получение изображения. Изображения можно получать в режиме реального времени с помощью видео, фотографий или 3D-технологий для анализа.
- Обработка изображения. Модели глубокого обучения автоматизируют большую часть этого процесса, но модели часто обучаются, сначала получая тысячи помеченных или предварительно идентифицированных изображений.
- Понимание изображения. Последний этап – это этап интерпретации, когда объект идентифицируется или классифицируется.

Для определение размера, формы, цвета, состояния поверхности и целостности сырья (на примере семян подсолнечника) была использована ЦВК, работающая с визуальной информацией, обработав которую, получают все необходимые данные, передающиеся в дальнейшем в ИСАКиУ. Анализ состояния внешнего вида: размера сырья, его формы, цвета, состояния поверхности и целостности семян подсолнечника для таких массовых объектов, как семена подсолнечника на данный момент ещё никем не рассматривался.

Поставленная перед нами задача автоматизации контроля внешнего вида сырья в ходе управления ТП производства кондитерской продукцией требует обеспечения выборки с большим числом этих объектов и дополнительного сбора необходимой информации к распознаванию их СКЗ. Для решения этой задачи и автоматизации контроля внешнего вида массового количества семян подсолнечника, поступающих на производство кондитерской продукции, необходим подбор алгоритма, способного выполнять классификацию объектов по заранее заданному обучающему множеству [55, 67].

Существующие СКЗ способны производить анализ множественного количества таких объектов. В таких СКЗ используется следующая схема: на вход СКЗ поступает снимок с большим количеством объектов. Далее выделяется каждый объект и делается проверка на степень его соответствия эталону. Затем осуществляется предобработка, результат которой анализируется подсистемой модуля АКОП, после чего сигналы поступают на блок выработки управления, который выполняет указанные оператором-технологом действия: устранение дефектов продукции или отправка её в контейнер с отходами; классификация по размеру, состоянию поверхности и т.д. Среди производителей оборудования, способного решать рассматриваемые задачи, присутствуют Buhler Group, Omron, Mallenom Systems, Cognex Corporation. На рисунке 3.10 представлены схема оборудования и классы решаемых СКЗ задач.

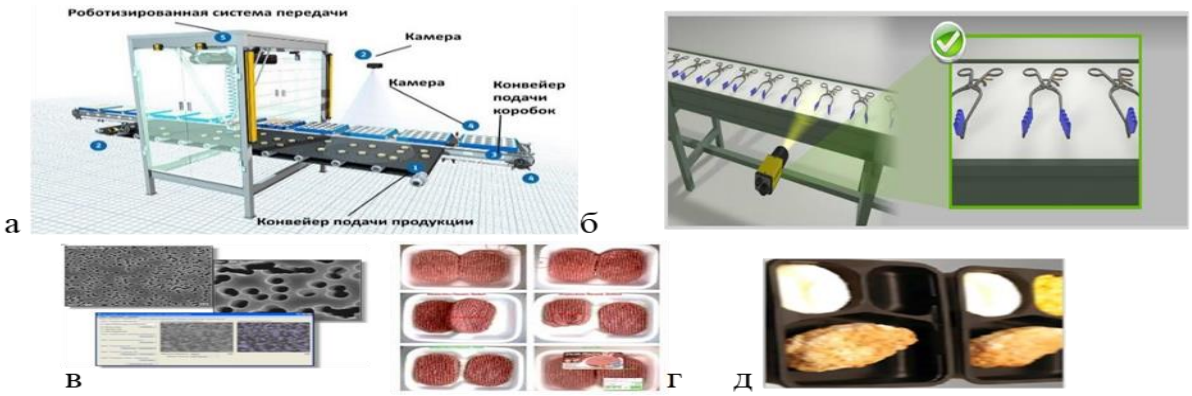


Рисунок 3.10 - Решаемые СКЗ задачи: а – схема конвейера подачи продукции; б – контроль качества сборки медицинского оборудования; в – контроль рисунка; г – комплексная инспекция мясных полуфабрикатов; д – контроль комплектности размещения продуктов.

Анализ исследований в данной области позволил разработать алгоритм распознавания СКЗ внешнего вида семян подсолнечника как множественного количества объектов растительного происхождения (рисунок 3.11).

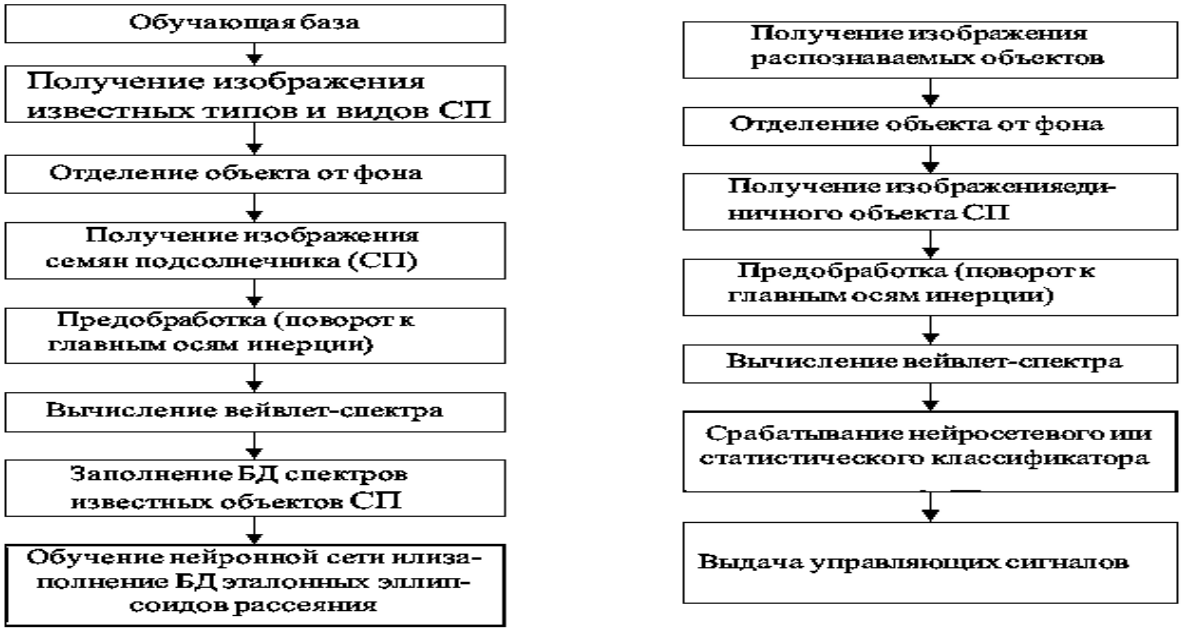


Рисунок 3.11 - Алгоритм СКЗ по распознаванию внешнего вида семян подсолнечника: а – режим обучения; б – рабочий режим.

Были проведены исследования по использованию ИНС на основе многослойного персептрона. Блок- схемы полученной СКЗ распознавания типов и видов семян подсолнечника, основанной как на ИНС, так и на статистических методах, представлены на рисунке 3.12.

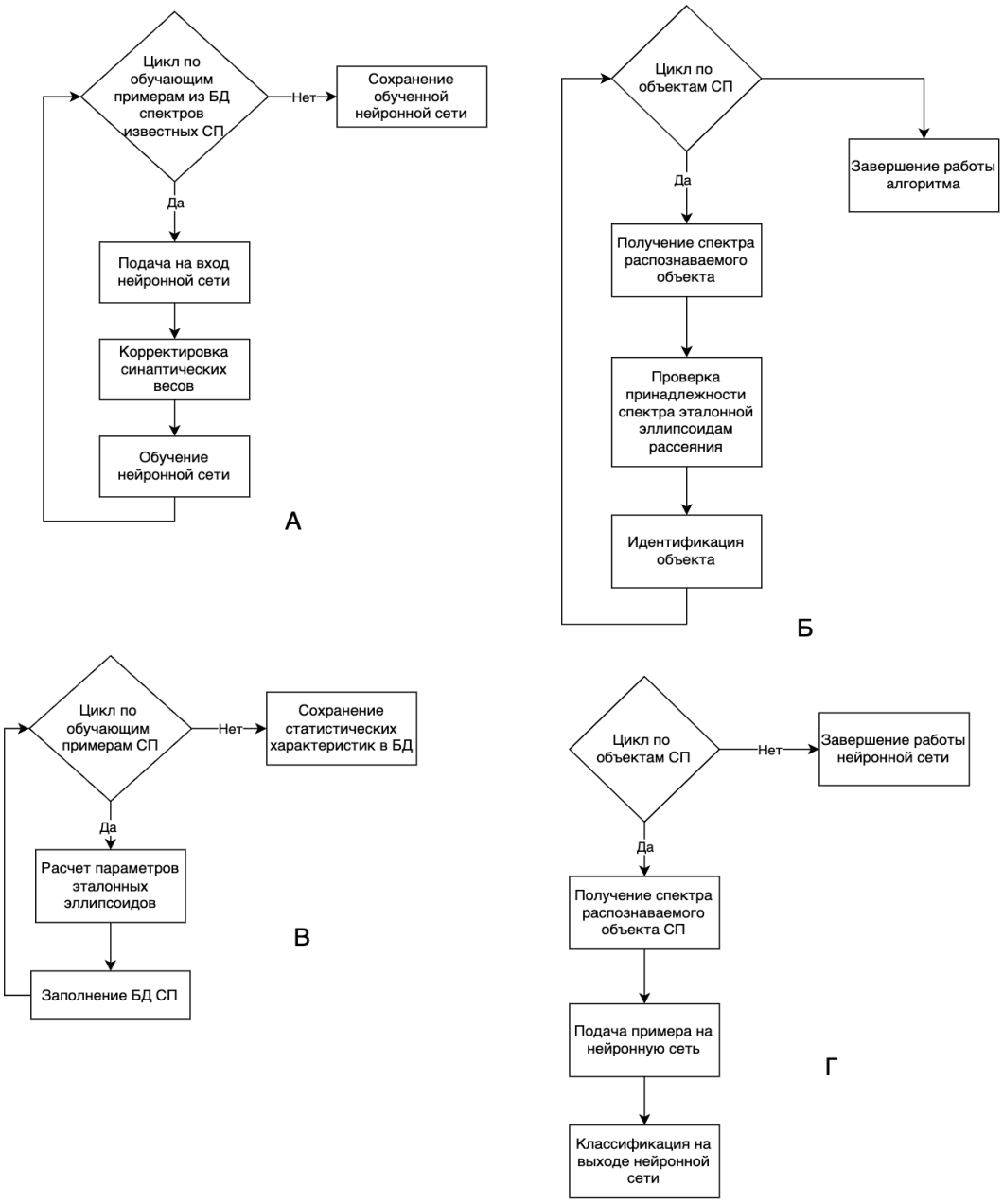
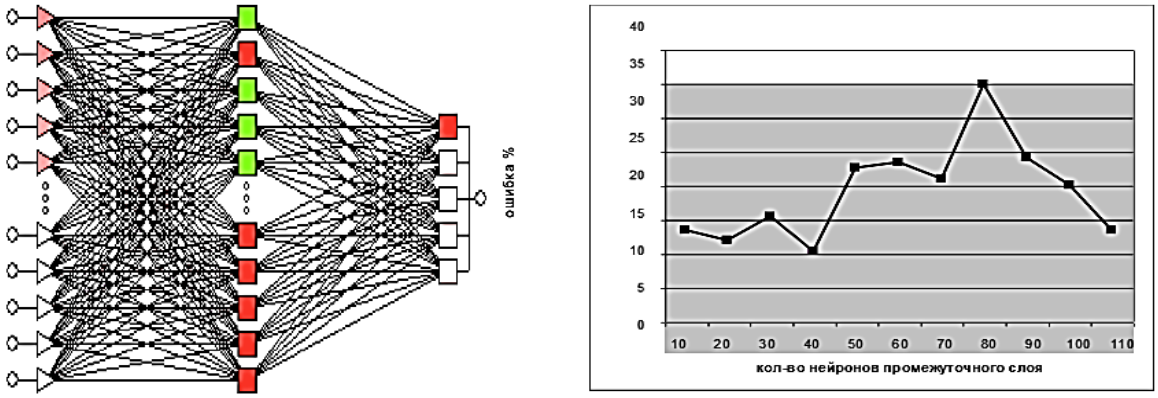


Рисунок 3.12 - Блок схема нейросетевого классификатора по распознаванию типов и видов семян подсолнечника:
а – режим обучения с использованием ИНС; б – рабочий режим данного классификатора; в – режим обучения классификатора с использованием статистических методов; г – рабочий режим этого классификатора

Вейвлет спектр применялся для того, чтобы исключить зависимость нейронных сетей от разрешения подаваемого изображения. Топология данного многослойного персептрона и результаты расчета ошибки распознавания внешнего вида семян подсолнечника представлены на рисунке 3.13. Как показали проведенные исследования распознавания показателей внешнего вида семян

подсолнечника, оптимальный многослойный персептрон имеет 25 нейронов во внутреннем слое, при 45 входных нейронов и пяти выходных (распознавались такие показатели, как размер, форма, цвет, состояние поверхности и целостность семян подсолнечника).



а) б)

Рис. 3.13. Нейросетевая структура, используемая для определения внешнего вида семян подсолнечника и полученный результат её работы: а – нейросетевая структура; б – результаты расчета ошибки распознавания внешнего вида семян подсолнечника

Распознавались в исследованиях пять сортов семян подсолнечника. Анализ проведенных исследований, основанных на использовании многослойного персептрона, показал хорошие результаты по распознаванию семян подсолнечника как множественного количества объектов растительного происхождения (точность - 92%). Проведенные исследования показали, что нейросетевой классификатор работает быстрее. Высокая точность была получена в процессе обучения сети.

Структурная организация модуля автоматического контроля в потоке внешнего вида семян подсолнечника

При решении задачи распознавания изображений внешнего вида семян подсолнечника возникает также подзадача идентификации отдельных сортов исследуемого сырья. Для решения данных задач в СКЗ могут использоваться не одна, а несколько ЦВК. При выполнении работы с анализируемыми объектами одним из этапов СКЗ должен быть этап отделения изображения объектов от фоновых

пикселей. В наших исследованиях этот фон неоднородный. При этом исследоваться должны не статичные изображения, а 3D – динамические изображения этапа подготовки сырья к производству. В рамках задач данной диссертации работа велась именно с видеопотоком, что особенно важно при слежении по изображению за перемещением семян подсолнечника на конвейерной линии и с изменением ракурса изображения с ленты конвейера (рисунок 3.14).

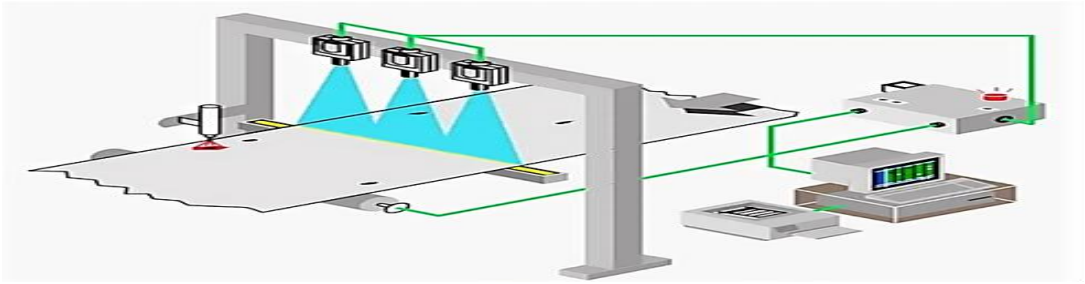


Рисунок 3.14 - Учет информации, поступающей с нескольких СКЗ

Одним из важных этапов распознавания является сегментация. В данной работе для сегментации изображения был использован алгоритм k-means [69, 187, 204, 205]. Затем была выполнена предобработка полученных изображений. Следующим шагом была классификация сегментов, которая осуществлялась с использованием НС. Проведенные исследования показали, что данный способ классификации является эффективным и точным для решения поставленных задач.

Проводились исследования с ИНС, состоящей из нескольких сетей меньшего размера. Каждая нейронная сеть анализировала только один показатель качества внешнего вида семян подсолнечника. Это или размер, или форма, или цвет, или состояние поверхности, или целостность семян подсолнечника. Данная обобщенная ИНС хорошо справлялась со своей задачей.

Обзор и анализ работ в данной области показал, что для осуществления идентификации с детальной оценкой состояния семян подсолнечника и их массового количества, модуль АКОП внешнего вида сырья должен включать СКЗ, состоящую из подсистемы бинаризации объектов [195], подсистемы выделения отдельных объектов из их массового количества, подсистемы контроля качества

бинаризации, подсистемы сегментации и подсистемы детального анализа сегментов. Все подсистемы отвечают одному из требований системного анализа – единству.

Особенностью разработанного модуля АКОП является то, что он будет дополнять уже существующие системы и выполнять анализ типов и видов объектов, а также анализировать детальное состояние этих объектов, определять все необходимые органолептические показатели исследуемого сырья. Поэтому использование детальной оценки состояния сырья позволило выполнить классификацию и отделение порченных семян подсолнечника (СП), колотых частей этих семян и т.д. Некоторые виды СП можно было бы использовать для производства растительного масла, а испорченные семена отправлять на утилизацию. Использование предлагаемой схемы, безусловно, принесет значительный экономический эффект и позволит повысить качество производимой продукции.

На рисунке 3.15 представлен разработанный модуль АКОП требуемой функциональности.

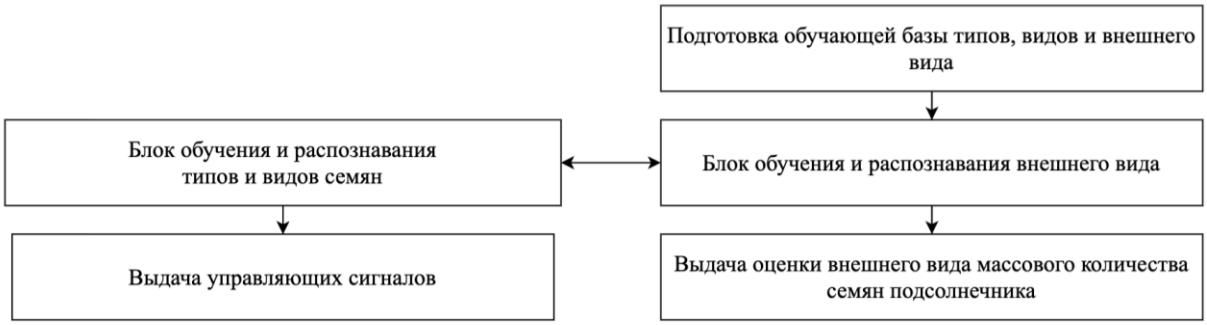


Рисунок 3.15 - Функциональные блоки модуля АКОП

В модуле АКОП присутствуют: блок обучения и распознавания типов и видов семян подсолнечника; блок обучения и распознавания состояния каждого единичного объекта. В дополнение к отмеченным блокам для обеспечения требуемой функциональности, модуль АКОП будет включать в себя еще три дополнительных блока: блок подготовки обучающей базы типов, видов и состояний семян подсолнечника; блок обучения и распознавания внешнего вида семян

подсолнечника и блок общей оценки внешнего вида массового количества семян подсолнечника. На разработку «Конструктор внешнего вида и формы кондитерских изделий» / В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский, И.В. Кротов // было получено свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ RU № 2025613322, 11.02.2025.Заявка № 2025611139, 24.01.2025.

3.4.4. Автоматизация контроля угла естественного откоса

Как было отмечено ранее угол естественного откоса – это важнейшая характеристика качества сыпучего сырья и различных материалов [18, 106, 170].

Данный параметр одновременно связан с аутогезией, внутренним трением и плотностью частиц сыпучего материала [18]. Он дает непосредственное представление о текучести сыпучей массы в состоянии свободной насыпки [197]. Эту характеристику используют также при определении вместимости транспортных средств и хранилищ, расчете оптимального наклона желобов, стенок воронок и т.д. [18]. В связи с важностью этой характеристики для кондитерских сыпучих масс и отсутствием в настоящее время возможности быстро и точно определить ее, нами разработан прибор для автоматического контроля угла естественного откоса различных пищевых сыпучих масс, представленный на рисунке 3.16.

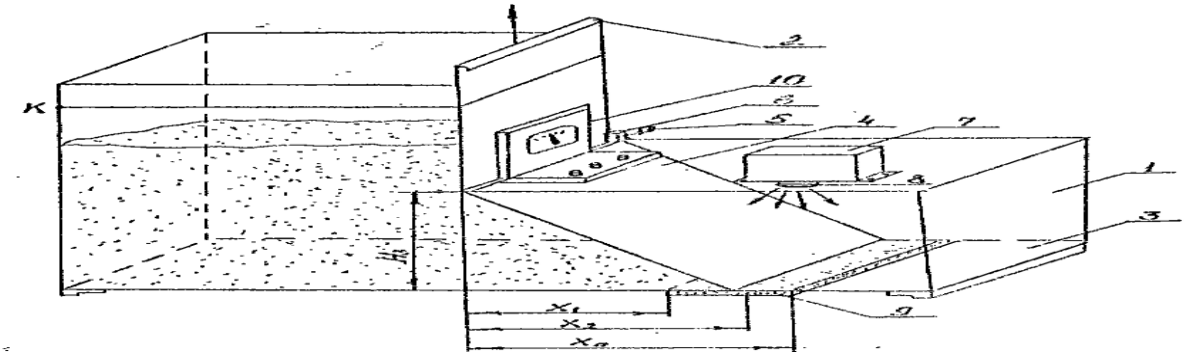


Рисунок 3.16 - Общий вид прибора для определения угла естественного откоса пищевых сыпучих масс

Прибор состоит из следующих основных частей: измерительного бункера 1, представляющего собой две прямоугольные емкости, разделенные в боковой части задвижкой 2 и снабженные подвижным основанием 3; стержня, на котором

закреплена кулиса 4, на конце стержня – магнит 5. Стержень может свободно вращаться вокруг своей оси. К корпусу бункера крепится геркон 6. Прибор снабжен трансформатором 7, источником света 8, селеновым фотоэлементом 9 для измерения горизонтальной составляющей угла естественного откоса, оттарированным показывающим прибором 10. Для стабилизации светового потока использована компенсационная схема 11 (рисунок 3.17), представляющая собой мостовую схему, собранную из четырех диодов Д 226. С помощью трех сопротивлений R_1, R_2 и R_3 обеспечивается стабильное значение тока.

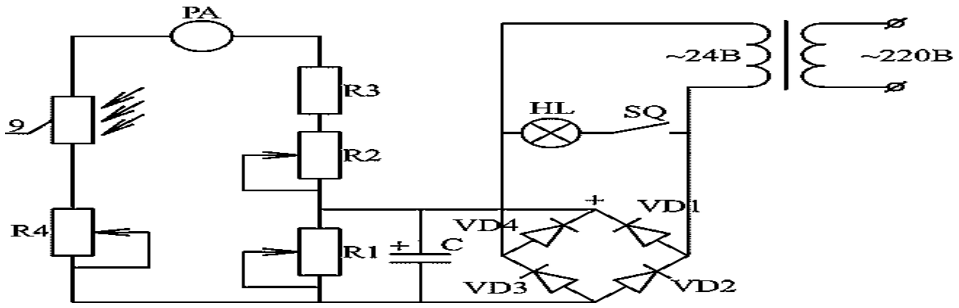


Рисунок 3.17 - Компенсационная схема стабилизации светового потока в приборе для автоматического определения угла естественного откоса

Прибор имеет два режима работы. Режим 1. Прибор работает при отключенной сети, если световой поток J достигает значения, необходимого для измерения угла естественно откоса, т.е. $J>J_{max}$. При этом обязательно производится настройка фона, для чего переменным сопротивлением R_1 (10 кОм) ставим стрелку измерительного прибора в положение $J=J_{max}$. При включении прибора в работу задвижка 2 открывается, и исследуемая сыпучая масса высыпается из одной емкости в другую, достигая заданной высоты H_3. При этом часть ЧЭ фотоэлемента 9 закрывается исследуемой массой и пропорционально площади закрытия элемента уменьшается величина тока, регистрируемая прибором 10. Так как шкала на приборе была предварительно оттарирована в единицах угла естественного откоса, то при измерениях снимаем с прибора 10 показания величины угла естественного откоса данной партии исследуемой сыпучей массы.

Режим 2. Если световой поток недостаточен для измерений, т.е. $J < J_{max}$, прибор включают в сеть. С помощью сопротивлений R_1 и R_2 (соответственно 10

кОм и 200 Ом) устанавливают стрелку прибора 10 на нулевую отметку для устранения светового фона. Перед началом работы проверяем мощность источника света, значение которого должно соответствовать величине $J = J_{max}$. При открытии задвижки исследуемая масса из одной прямоугольной емкости высыпается в другую, образуя откос определенной заданной высоты. Достижение исследуемой массой высоты H_3 фиксируется с помощью кулисы, закрепленной на стержне. При образовании откоса стержень 4 вращается вокруг своей оси. При достижении массой заданной высоты магнит, закрепленный на другом конце стержня, приближается к фиксированному для данной высоты H_3 геркону, который срабатывает и замыкает свой контакт, при этом включается лампочка, свет которой падает на чувствительный селеновый фотоэлемент. Так как работа прибора происходит при заданном значении высоты H_3, то для определения угла естественного откоса достаточно измерить расстояние x_i. Значению x_i соответствуют определенные значения тока при подключении освещения. Работа чувствительного селенового фотоэлемента основана на линейной зависимости тока I_i от светового потока, падающего на него. Проведя ряд экспериментов, мы установили зависимость значений I_i от степени затемнения селенового фотоэлемента исследуемой массой. Это дает возможность оттарировать шкалу прибора и получить на ней показания угла естественного откоса в градусах.

$$x_i = \mathrm{tg}\alpha\, H_3, \qquad (3.4)$$

Из уравнения (3.4) получим

$$\alpha = arctg\frac{H_3}{x}, \qquad (3.5)$$

Блок-схема алгоритма работы прибора представлена на рисунке 3.18.

Был изготовлен макет данного прибора и проведены экспериментальные исследования его работоспособности. Анализ полученных данных позволил получить следующую техническую характеристику прибора:

Предел измерения угла естественного откоса, град	25 ÷ 40
(углы естественного откоса можно измерять	40-55
в любом из указанных диапазонов, что зависит	55-77
от места установки селенового фотоэлемента)	

Относительная погрешность, %	± 2,0
Порог чувствительности, %	0,08
Температура окружающего воздуха, ^{0}C	5 ÷ 50
Относительная влажность окружающего воздуха, %, не более	80
Питание, В	220±(10-15%)
частота, Гц	50± 1
габаритные размеры, м	0,35 x 0,42 x 0,15
масса, кг	2,5

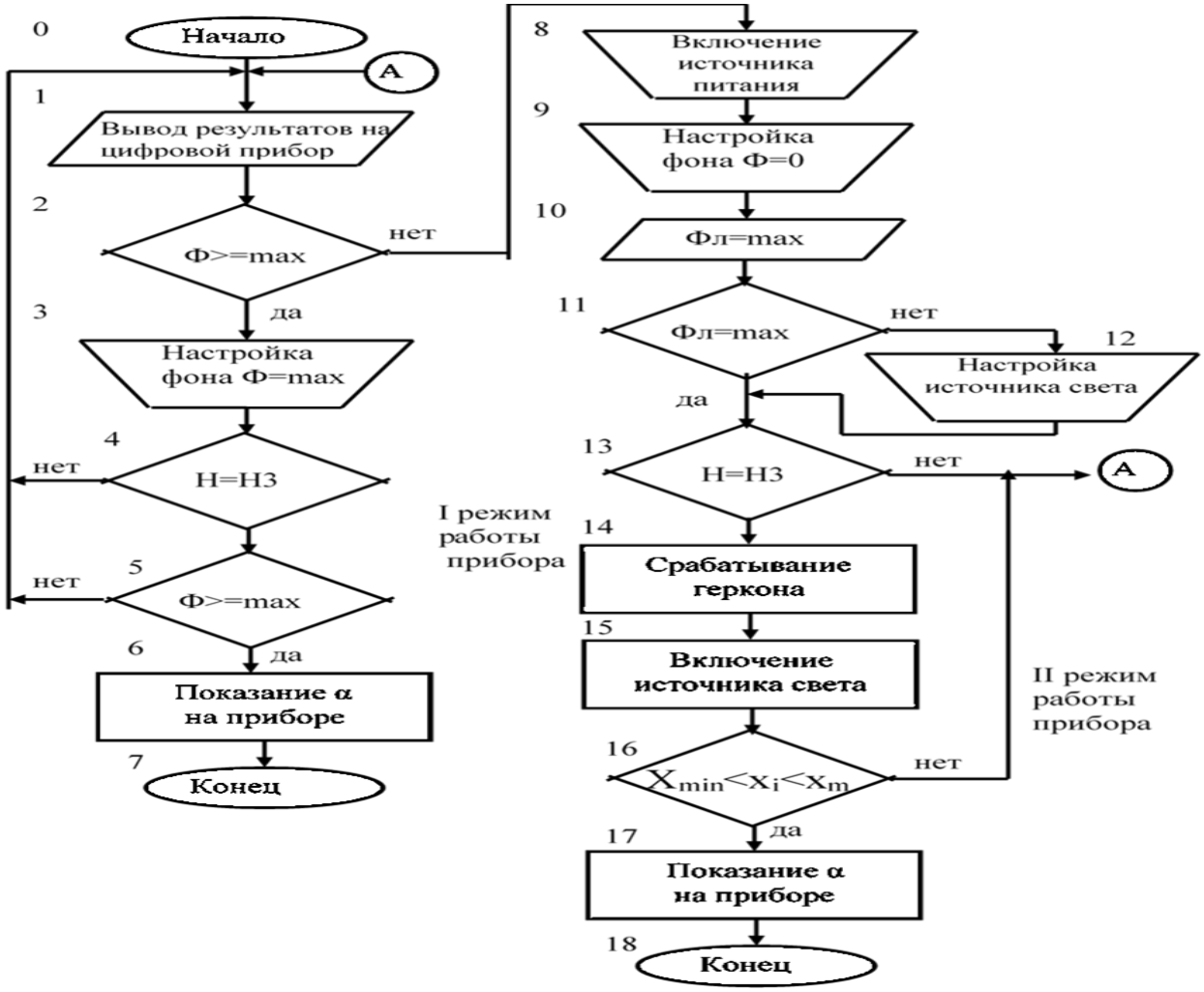


Рисунок 3.18 - Блок-схема алгоритма работы прибора для определения угла естественного откоса сыпучих пищевых масс

Апробация данного прибора в производственных условиях показала его работоспособность.

На базе данного прибора для возможности работы в режиме реального времени на конвейерной линии был разработан *цифровой прибор автоматического контроля угла естественного откоса с применением компьютерного зрения*.

Принцип работы цифрового прибора

В основу работы цифрового прибора автоматического контроля угла естественного откоса положено определение расстояния, которое рассчитывается от заслонки, фиксирующей объем сыпучего вещества и до границы рассыпанного исследуемого объема образца после ее открытия. С помощью математических расчетов вычисляется угол естественного откоса. Контроль расстояния осуществляется с помощью цифровой камеры и компьютерного зрения. Пример контроля угла естественного откоса, например, какао-бобов показан на рисунке 3.19.

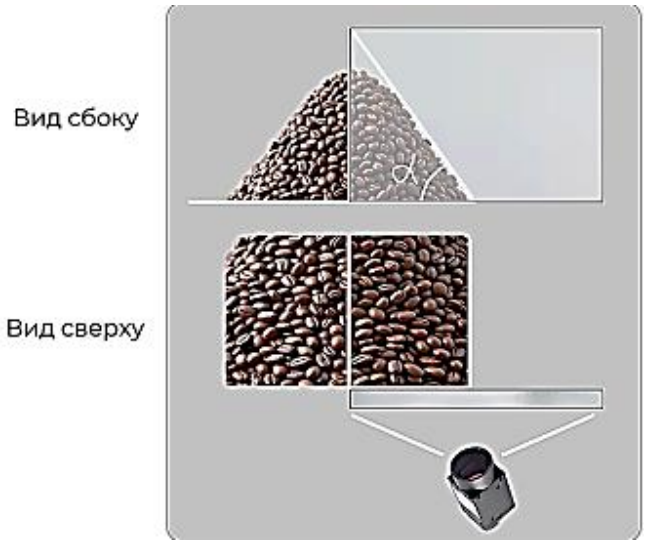


Рисунок 3.19 - Пример контроля угла естественного откоса какао-бобов

Структура цифрового прибора показана на рисунке 3.20.

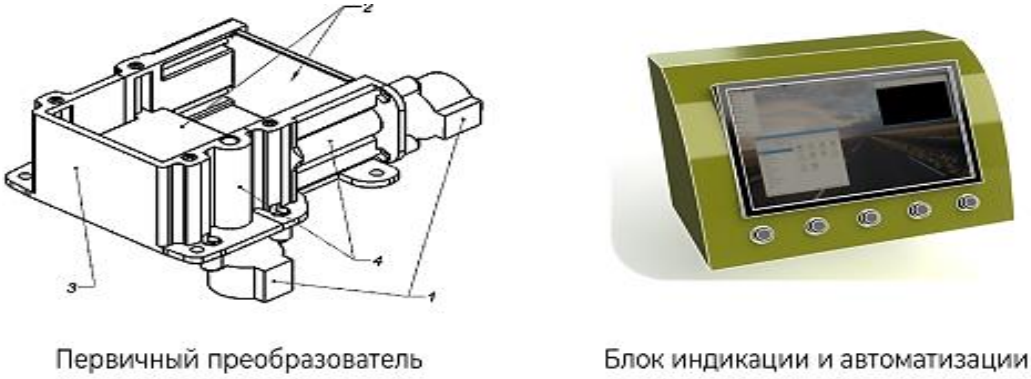


Рисунок 3.20 - Структура цифрового прибора

Как видно из рисунка 3.20, цифровой прибор состоит из двух автономных, конструктивно законченных блоков, соединенных между собой: первичного преобразователя и блока цифровой индикации и автоматизации. Первичный преобразователь цифрового прибора состоит из корпуса 3, в котором расположены элементы “винт-гайка” для преобразования кругового вращения в линейное перемещение 4, платформа и стенка 2 для ограничения и перемещения сыпучего образца сырья, шаговые двигатели 1 для перемещения элементов. На боковую стенку корпуса 3 устанавливается цифровая камера для получения графического изображения сыпучего образца сырья. Конструкция прибора позволяет выполнять забор образца сыпучей среды в потоке за счет движущихся элементов - платформы и стенки, а также возвращать обратно измеренные образцы в поток конвейера.

В качестве управляющей основы блока индикации и автоматизации была использована платформа Raspberry PI 4 Model B. Данное устройство — это полноценный одноплатный микрокомпьютер размером с банковскую карту, который управляет шаговыми двигателями, фиксирует с помощью камеры изображение сыпучего образца, а также по изображению с применением технологии машинного зрения рассчитывает угол естественного откоса, а также позволяет выводить информацию в виде графического отображения на дисплее, управляет модулем захвата образца сыпучей среды в потоке на различных этапах производства кондитерской продукции. Для реализации алгоритма работы прибора были необходимы дополнительные модули. На рисунке 3.21 представлен блок индикации и автоматизации, включающий цветной сенсорный дисплей 2, драйвера шаговых двигателей 3, цифровую камеру 4, модуль реле 5. Дополнительные модули необходимы для вывода информации на дисплей, управления устройствами задвижек, управления шаговыми двигателями, определения перемещения сыпучего образца с применением машинного зрения.

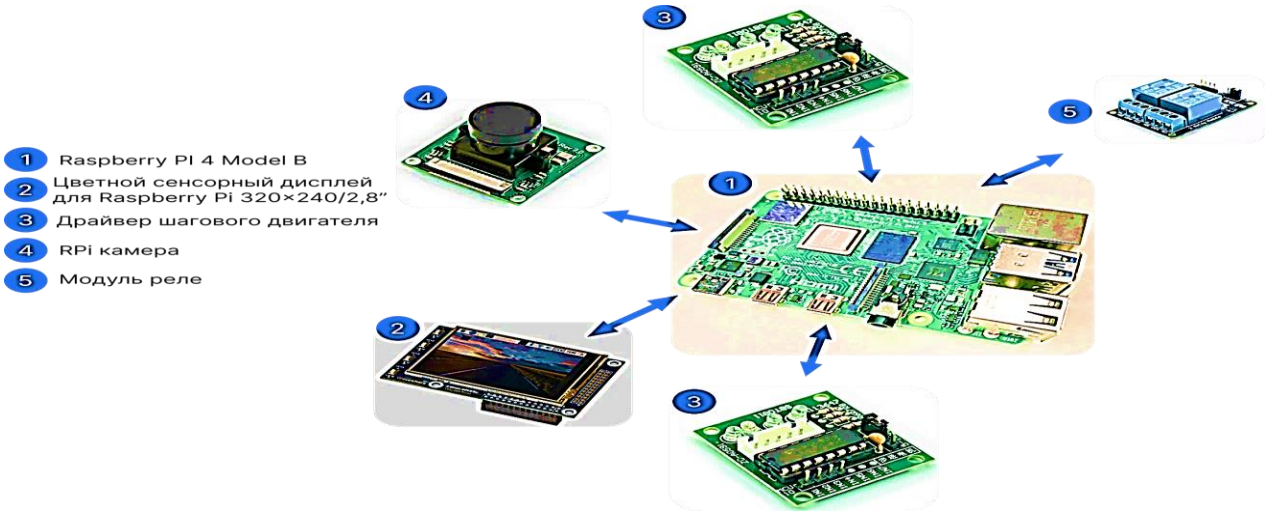


Рисунок 3.21 - Блок индикации и автоматизации прибора

На рисунке 3.22. представлена разработанная схема подключений дополнительных модулей блока автоматизации с микрокомпьютером Raspberry PI 4 Model B.

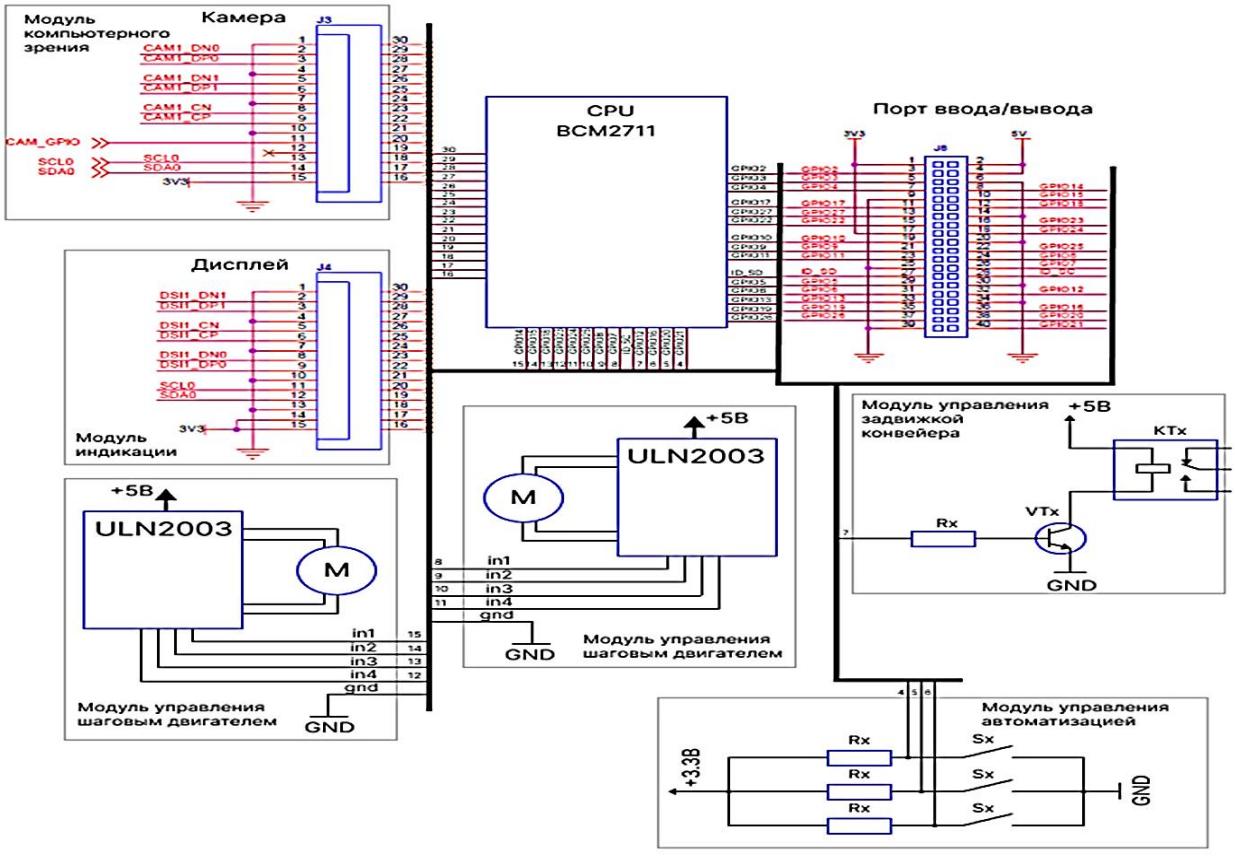


Рисунок 3.22 - Схема подключений блока автоматизации

Алгоритм работы цифрового прибора показан на рисунке 3.23.



Рисунок 3.23 - Алгоритм работы цифрового прибора

Цифровой прибор работает следующим образом. После подачи напряжения на цифровой блок автоматизации на панели индикации отображается окно с настройками и сообщение о возможности начать измерение. Получив сигнал о начале измерения, блок автоматизации с помощью шаговых двигателей перемещает нижнюю платформу вниз корпуса, а боковую стенку – к нижней платформе. В результате перемещений формируется чаша для заполнения сыпучего образца сырья. Далее микрокомпьютер подает управляющий сигнал на модуль открытия заслонки конвейера. Образец сырья попадает в сформированную прибором чашу и по датчикам заполнения емкости подает сигнал на закрытие заслонки. После чего, боковая стенка чаши перемещается, увеличивая общее пространство чаши, тем самым сырье начнет “сползать”, образуя склон. Цифровая камера, расположенная за боковой прозрачной стенкой корпуса, фиксирует изображение и с помощью алгоритмов машинного зрения выполняется расчет угла естественного откоса.

На рисунке 3.24 представлены фрагменты исходного кода подключения библиотек портов ввода вывода, модуля шагового двигателя, определение выводов. Представлены функции инициализации портов шаговых двигателей, функции портов кнопок, цифровой камеры, задвижки, часть функции main, выполняющая основной алгоритм работы прибора измерения угла естественного откоса.



Рисунок 3.24 - Фрагменты исходного кода подключения библиотек портов ввода вывода, модуля шагового двигателя, определение выводов

Для проведения экспериментов была выполнена сборка прототипа цифрового прибора для автоматического контроля угла естественного откоса и загружено ПО. Прототип устройства был размещен в корпусе, разработанном с учетом дополнительных модулей. Корпуса и дополнительные фиксационные элементы были распечатаны на 3D принтере. На рисунке 3.25 представлен внешний вид собранного прототипа.



Рисунок 3.25 - Прототип устройства

Таким образом, нами разработаны:

- ✓ прототип цифрового прибора для АК угла естественного откоса;

- ✓ разработано ПО прототипа цифрового прибора для АК угла естественного откоса;
- ✓ реализован алгоритм машинного зрения;
- ✓ проведены испытания работоспособности прибора АК угла естественного откоса на производственных линиях, что позволяет выполнять контроль в потоке производства угла естественного откоса и, при необходимости, выполнять коррекцию этого показателя на соответствующих этапах для уменьшения брака готовой кондитерской продукции.

На разработку «Модуль расчета угла естественного откоса» /В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский, И.В. Кротов / было получено Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2025661081, 29.04.2025. Заявка № 2025618862 от 12.04.2025.

Разработанный прибор АК угла естественного откоса пищевых сыпучих масс в потоке производственных линий позволяет:

- исключить человеческий фактор на этапах визуального контроля;
- улучшить качество контроля и снизить количество брака на производстве;
- внедрить интеллектуальные информационные технологии в кондитерскую промышленность на основании постановления Правительства Российской Федерации о цифровой трансформации отраслей кондитерской промышленности.

3.4.5. Автоматизация определение блеска поверхности кондитерских изделий

Блеск поверхности кондитерских изделий (плиточный шоколад, глазированные шоколадные конфеты, глазированный зефир, драже и др.) – является показателем качества, отраженным в ГОСТе и показывающим состояние поверхности исследуемой готовой продукции [227]. На рисунке 3.26 показан пример плитки шоколада с блестящей поверхностью.



Рисунок 3.26 - Плитка готового шоколада с блестящей поверхностью

На большинстве кондитерских предприятий контроль блеска поверхности кондитерской продукции осуществдяется визуальными сенсорными методами в лабораториях кондитерских предприятий [121, 196]. Поэтому разработка отечественного датчика АК блеска поверхности готового плиточного шоколада, глазированных шоколадных конфет, глазированного зефира, драже и других кондитерских изделий в потоке производственной линии является актуальной и важной задачей.

Для определения данного показателя качества разработан специальный датчик – блескомер фотоэлектрический, который позволяет производить автоматический контроль в потоке блеска поверхности готовой кондитерской продукции различной геометрической формы. При этом он контролирует не только блеск, но также однородность и равномерность покрытия, состояние поверхности готового изделия, определяет возможные повреждения на поверхности.

Блеском (глянцем) называется способность поверхности отражать свет без рассеяния. Блеск покрытия напрямую зависит от свойств исследуемого продукта и режима его отверждения [35, 36,143]. Измерение блеска необходимо для характеристики внешнего вида и оценки качества состояния поверхности готового изделия – блестящая, равномерная. *Блеск* является оптической характеристикой свойства поверхности, отражающей свет, показывающий соотношение между интенсивностями света, зеркально отраженного от поверхности, и света, рассеянного во все стороны – диффузного отражения (рисунок 3.27).



Рисунок 3.27 - Оптическая характеристика свойства поверхности, отражающей свет

Блеск появляется только после формования кондитерского изделия [35, 36]. Как измеряемая физическая величина *блеск* – это соотношение световых потоков. Принципиальная схема фотоэлектрического датчика контроля блеска готовых кондитерских изделий разной геометрии изображена на рисунке 3.28. Фотоэлектрический датчик состоит из источника света, линзы, направляющей поток параллельных лучей на испытуемую поверхность, и приемного устройства, состоящего из линзы, полевой диафрагмы и фотоэлемента, воспринимающего отраженный свет в заданном угле. При измерении блеска оптические оси осветителя и фотоприемника должны находиться под равными углами ($\gamma = \gamma_1$) относительно перпендикуляра к измеряемой поверхности. Точка пересечения лучей должна лежать на поверхности образца. Для настройки датчика применяли рабочие стандартные образцы с той же геометрией освещения-наблюдения 45°/45° и 45°/0°.

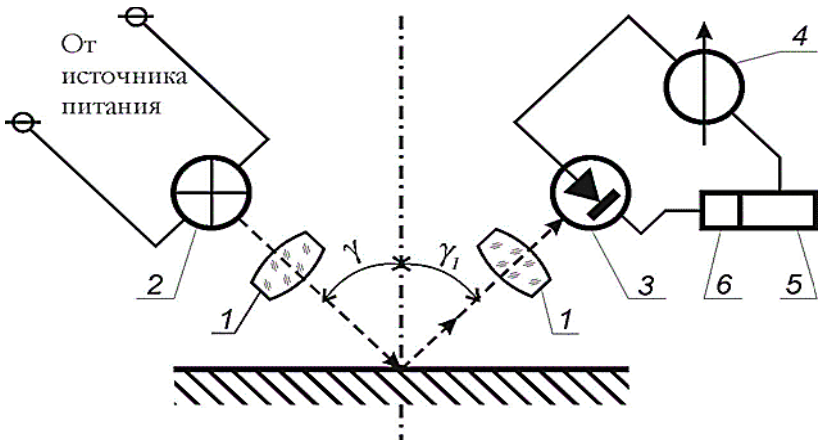


Рисунок 3.28 - Фотоэлектрический датчик контроля блеска поверхности
1 – оптическая система; 2 – осветитель; 3 – фотоприемник;
4 – измеритель; 5 – усилитель; 6 – приспособление для настройки

электрической схемы.

Принцип действия данного фотоэлектрического датчика основан на сравнении количества света, отраженного поверхностью исследуемого изделия, с количеством света, отраженного эталоном. В основу метода определения состояния поверхности положено измерение тока, возбуждаемого в фотоэлектрическом приемнике под действием светового потока, отраженного от исследуемой поверхности. В зависимости от степени блеска поверхности исследуемого продукта меняется интенсивность света, изменение которой приводит к изменению напряжения на нагрузке фотоэлемента. Метод основан на бескомпенсационной схеме (т.е. позволяет отсчитывать результат исследования непосредственно по шкале прибора) и обеспечивает количественную оценку состояния поверхности (блеска) кондитерских изделий. Величину блеска выражают в процентах в соответствии с показаниями шкалы прибора.

Световой поток осветителя собирается линзой и падает на измеряемое готовое кондитерское изделие под углом 45°. Отраженные от измеряемой поверхности лучи падают через диафрагму на селеновый фотоэлемент Ф41-С с помощью систем линз. Фотоэлемент помещается в боковой тубус для замера блеска (зеркальной составляющей светового потока) и в средний тубус – для замера рассеянного света. Постоянное напряжение, подаваемое на осветитель, поддерживается трансформатором с ферромагнитным стабилизатором, вмонтированным в футляр прибора. Это устройство обеспечивает воспроизведение результатов измерения блеска с точностью до 1 % при колебании напряжения в сети до 20 %. Измерительным устройством в приборе является микроамперметр М136 со шкалой, имеющей 100 делений. Перед проведением исследований, датчик настраивали при помощи эталонной пластинки блестящей поверхности таким образом, чтобы показание шкалы измерительного прибора было «65». Оптимально, если датчик позволит измерять значения блеска под углами 20/60/85 [143]. Кроме того, необходимо обеспечить компактные размеры датчика.

Для получения более точных результатов по состоянию исследуемой поверхности готового кондитерского изделия необходим второй датчик, который позволяет контролировать однородность и равномерность покрытия, его состояние, наличие повреждений. При этом световой пучок должен иметь сопрягающую оптическую систему для измерительного канала. Для этого нами:

- определен комплект оптических деталей на изготовление макетов датчиков контроля блеска и состояния поверхности готовых кондитерских изделий;

– выполнена сборка макетов датчиков, проведена их апробация на различных эталонах блеска, однородности и равномерности покрытий различной кондитерской продукции. Данные математического моделирования оптической системы представлены на рисунке 3.29. Исходя из этого была рассчитана осветительная система, представленная на рисунке 3.29 а. Оптическая система удовлетворяет требованиям по погрешности и по габаритам.

Разработанный датчик автоматического контроля блеска покрытий готовой кондитерской продукции различной геометрической формы (например, плиточный шоколад или глазированные шоколадные конфеты) унифицирован.

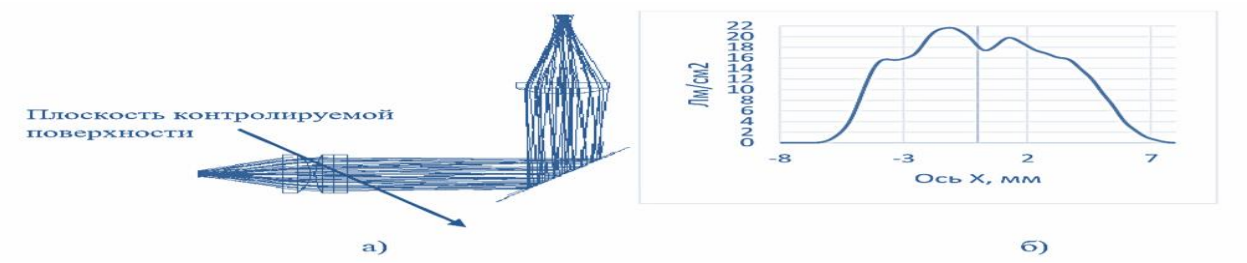


Рисунок 3.29 - Данные математического моделирования оптической системы:

Была смоделирована 3D модель датчика автоматического контроля блеска покрытий кондитерских изделий. Перед тестированием датчик настраивали при помощи эталонных пластин с блестящей поверхностью. Замеры величины блеска после настройки датчика производили на различных участках поверхности подготовленного образца покрытия. На рисунке 3.30 представлена сборочная 3D модель датчика блеска на 2 угла (с геометрией 45/0/45) в разрезе.

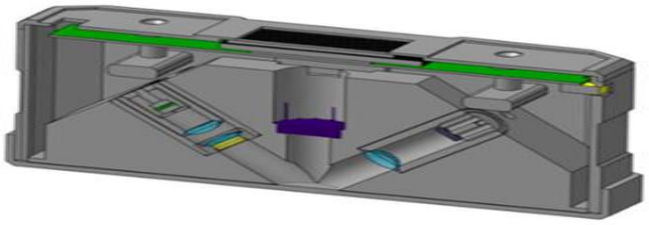


Рисунок 3.30 - Смоделированная 3D модель датчика блеска с геометрией 45/0/45 в разрезе

По степени блеска и по состоянию поверхности готовой продукции, измеренной датчиком, кондитерские изделия можно подразделить на следующие 6 категорий: > 60 % – высокоглянцевые; 59–40 % – глянцевые; 39–25 % – полуглянцевые; 24–10 % – полуматовые; 9–3 % – матовые; < 3 % – глубокоматовые.

Тестирование датчика происходило на 5 откалиброванных образцах блеска и его результаты представлены на рисунке 3.31.

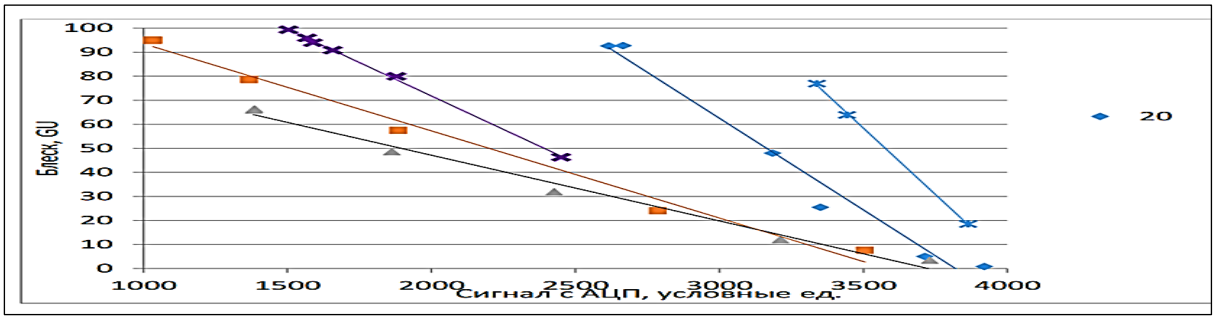


Рисунок 3.31 - Зависимость результатов значений блеска поверхности от напряжения на фотоприемнике без диафрагмы

В результате проделанных исследований:

– выбрана оптимальная оптическая система, удовлетворяющая требованиям контроля блеска поверхности готовой кондитерской продукции;

– смоделирован макет фотоэлектрического датчика АК блеска и состояния покрытия готовой кондитерской продукции различной геометрической формы;

– создан макет датчика блеска, который прошел апробацию на различных эталонных образцах блеска поверхностей. Он позволяет также контролировать однородность и равномерность покрытия глазированных конфет, состояние и повреждения его поверхности.

На способ и устройство разрабтанного датчика блеска был получен патент на изобретение «Способ и устройство для Фурье анализа светопропускающих

сред» / А.Н. Дроханов, В.Г. Благовещенский, А.Е. Краснов, Е.А. Назойкин / Номер патента: RU 2770415 C1. Россия. Год публикации: 2022. Номер заявки: 2021101580. Дата регистрации: 26.01.2021. Дата публикации: 15.04.2022.

3.4.6. Автоматизация контроля в потоке формы кондитерских изделий (на примере пористого шоколада и карамели)

Как было показано в 1 главе п.1.4., качество кондитерских изделий регламентируют: ISO 11036—2017 «Органолептический анализ. Методология. Характеристики структуры», ГОСТ 5897-90 «Изделия кондитерские. Методы определения органолептических показателей качества, размеров, массы нетто и составных частей», которыми предусматривается обязательное определение важнейшего органолептического показателя качества разнообразной кондитерской продукции - формы готовых изделий (таблица 1.7).

Рассмотрим возможность автоматизации контроля в потоке формы готовых изделий на примере плиточного пористого шоколада. Производство пористого шоколада почти всегда сопровождается определённым процентом брака, связанным с различными дефектами внешнего вида. Контроль качества внешнего вида и формы пористого шоколада, является обязательным на каждом этапе его приготовления (глава 1, п.1.2.1). На данный момент в качестве основного оборудования для контроля этих органолептических показателей используются весы лабораторные, термометр, цилиндры отливные [138]. С помощью этого оборудования происходит контроль размера плиток шоколада. Цветовые параметры, блеск поверхности и форму готовых изделий контролируют визуально эксперты в лабораториях кондитерских предприятий [138, 196].

Использование данного лабораторного оборудования и применяемой методики не позволяет оценить эти показатели качества в полном объеме, с высокой точностью и скоростью, так как на данный момент необходимо выбирать из партии несколько образцов, например, плиток шоколада и исследовать их в лабораторных условиях, что несколько искажает данные (изменение температуры,

влажности, вязкости и других важнейших параметров качества пористого шоколада). Существующий сенсорный анализ качества имеет влияние человеческого фактора на ошибки измерения, занимает достаточно много времени и не дает возможности вовремя управлять процессом производства этого продукта.

Исследование, проведенные нами во 2 главе показали, что для ускорения и улучшения качества контроля внешнего вида, в том числе формы пористого шоколада в поточном режиме производственной линии эффективно использование цифровых интеллектуальных технологий, таких как компьютерное зрение и НСТ, поскольку они хорошо зарекомендовали себя в обработке графической информации, обладают быстрой скоростью и дают достоверные данные.

Разработанные нами устройства АК в потоке органолептических показателей качества кондитерских изделий продемонстрировали, что метод распознавания объектов с использованием ИНС имеет существенные преимущества перед иными методами распознавания. Методы распознавания объектов по форме контуров с использованием гибридных методов и технологий (НСТ и СКЗ) – это наиболее перспективное высокотехнологичное направление развития ИИ. Использование этих интеллектуальных технологий для решения поставленной задачи обусловлено быстрой скоростью работы разрабатываемого виртуального прибора, возможностью поточной обработки данных и достижимостью контроля формы каждого выпускаемого изделия.

Для реализации контроля внешней формы пористого шоколада на основе СКЗ и НСТ была использована видеокамера и программная часть, связанная с обработкой изображений. Рассмотрим аппаратную часть. Российской фирмой «Омрон Электроникс» представлены несколько типов камер для использования технологии машинного зрения. Это: микропроцессорный датчик технического зрения ZFV; интеллектуальный датчик F160; система технического зрения среднего класса F210; скоростная система технического зрения F250; сетевые СКЗ F500 и F210ETN; устройство считывания двумерного кода V400; устройство считывания двумерного кода V530-R160. Проведенный нами анализ возможности

использования ЦВК компьютерного зрения показал, что 1D (линейная) цифровая видеокамера сканирует предмет построчно и выдает собранный кадр из линий, имеет большое разрешение и способна снимать на очень высоких скоростях.

2D (матричная) цифровая видеокамера – снимает привычный прямоугольный кадр. Есть модели с разрешением до 150 МПикс, а также способные синхронизироваться с процессами до 2000 Гц. Имеются модели монохромные, цветные, SWIR диапазона. 3D цифровая видеокамера - отдельный класс устройств, способных выдавать 2.5D снимок. Это может быть, как триангуляционная камера, способная внутри себя преобразовать массив лазерных профилей в 3D картинку, так и ToF камера. LiDAR камера, которая формирует трёхмерную картину окружающего пространства за счет точечного света пространства перед собой и считывания время возврата сигнала. LiDAR содержит внутри себя вращающуюся с высокой скоростью зеркальную оптическую систему и выдает картинку с точками в пространстве, по которым можно определить расстояние до объекта.

Для контроля внешней формы, цвета, состояния поверхности и количества плиток пористого шоколада, перемещающегося по транспортеру производственной линии, на этапе контроля качества готовых изделий и отсеивания брака, была выбрана 2D камера, способная получать привычный прямоугольный кадр, который необходим программной части устройства для дальнейшей ее обработки.

Программная часть представляет собой ПО, которое выделяет объекты на 2D изображении. После выделения объекта на изображении, определение его границ, математическим путем вычисляются основные параметры полученного изображения – форма, цвет, состояние поверхности, сколы и др. Были проанализированы возможности различного ПО: Python, TensorFlow, OpenCV.

В качестве реализации данного ПО был выбран язык программирования Python и его библиотека OpenCV [203 - 205]. Данная библиотека способна работать с цифровой видеокамерой, выполнять обработку изображения, работать с цветом, рисовать на изображениях для выделения объекта и выполнять множество необходимых функций [61, 204].

Для детектирования исследуемого объекта совместно с видеокамерами применялись сверточные НСТ. Благодаря своему строению они хорошо извлекают признаки из изображения. CNN используются в задачах классификации, распознавания, сегментации и еще во множестве других. Был проведен анализ нескольких существующих CNN [25]. R-CNN – первая модель для решения данной задачи. Работает как обычный классификатор изображений [92]. На вход сети подаются разные изображения и для них делаются предсказания. Модель очень медленная, так как прогоняет одно изображение несколько тысяч раз. Fast R-CNN – улучшенная и более быстрая версия R-CNN, работает по похожему принципу, но сначала все изображение подаются на вход CNN, потом из полученного внутреннего представления генерируются свойства исследуемого объекта. Но данная модель также довольно медленная. Главным отличием модели «Faster R-CNN» от предыдущих является то, что она вместо selective search алгоритма для выбора исследуемого объекта использует нейронную сеть для их «заучивания». YOLO – совсем другой принцип работы по сравнению с предыдущими, не использует прошлые модели вообще. Это наиболее быстрая модель. Главное ее отличие от других сетей заключается в том, что сверточная сеть применяется один раз ко всему изображению сразу. Сеть делит изображение на своеобразную сетку и предсказывает вероятности того, что там есть искомый объект для каждого участка. На рисунке 3.32 представлена внутренняя архитектура сверточной нейронной сети YOLOv3, предлагаемой нами к использованию в намеченных исследованиях.

Для реализации сверточной нейронной сети используется язык программирования Python и программная библиотека TensorFlow [200, 201]. Данная полная сверточная сеть используется без обучения. Для определения границ и контроля формы шоколада (в том числе пористого) сетью необходимо загрузить веса от предварительно обученной модели. Проведенные нами исследования позволили получить эти веса от обучения YOLOv3 на наборе данных COCO (Common Objects in Context).

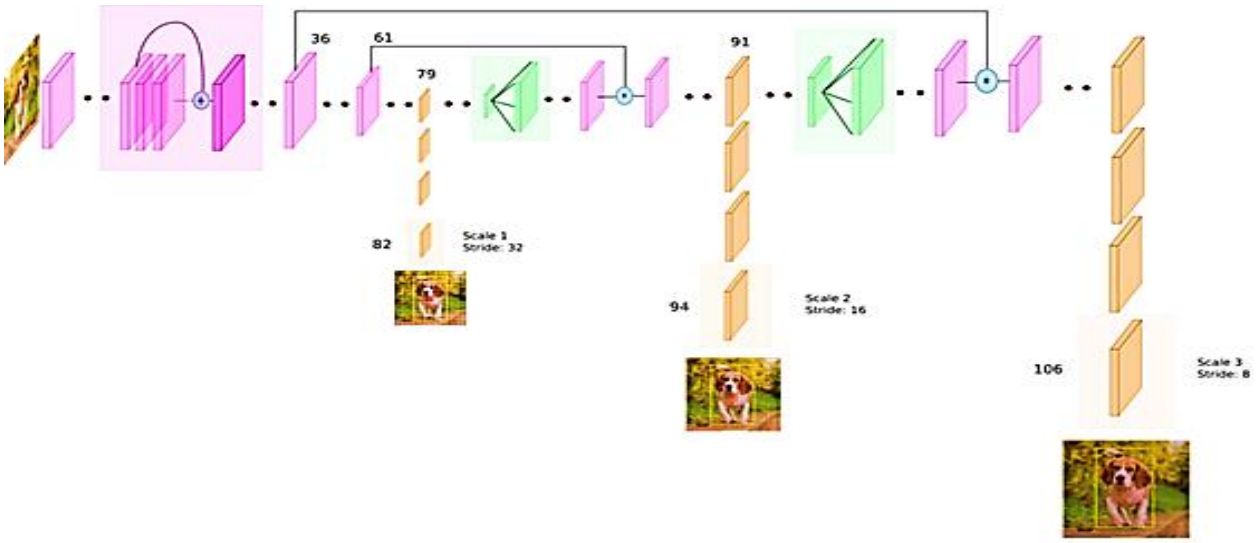


Рисунок 3.32 - Внутренняя архитектура сверточной нейронной сети YOLOv3

Для тестирования НС, в качестве примера, было взято изображение плитки пористого шоколада, представленное на рисунке 3.33.



Рисунок 3.33 - Пример изображения плитки пористого шоколада

Предварительно обработав данное изображение библиотекой OpenCV, получаем выходное изображение, представленное на рисунке 3.34, с выделенными контурами и значениями длины и ширины плитки шоколада.



Рисунок 3.34 - Выходное изображение плитки шоколада

Данная технология, показанная на примере пористого шоколада, производит контроль в потоке внешней формы готового кондитерского изделия с высокой скоростью и стабильностью, несмотря на возможные изменения внешних факторов (температуры, влажности и др.).

В дополнении к описанным исследованиям были проведены экспериментальные исследования эффективности использования разработанного метода в реальном масштабе времени (по быстродействию) для автоматизации контроля в потоке формы готовой карамели

Внешняя форма карамели является важнейшим показателем качества. В настоящее время она определяется в лабораториях кондитерских предприятий органолептически с использованием визуального контроля. Для автоматизации контроля в потоке формы карамели был использован описанный выше метод. Анализ полученных данных показал хорошие результаты контроля в потоке формы готовой карамели после формования (рисунок 3.35). В результате эксперимента выявлено, что на данном виде объектов СКЗ имеет точность 98,5%.

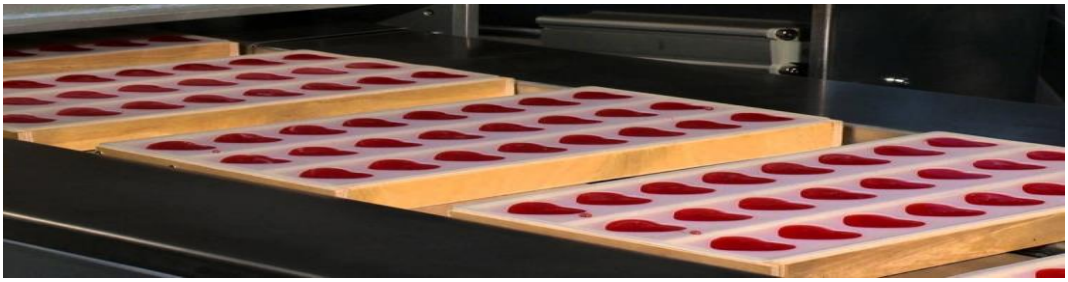


Рисунок 3.35 - Контроль в потоке формы готовой карамели после формования

На разработку «Конструктор внешнего вида и формы кондитерских изделий» / В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский, И.В. Кротов / было получено Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU № 2025613322, 11.02.2025. Заявка № 2025611139 от 24.01.2025.

3.4.7. Автоматизация контроля консистенции кондитерских масс

Представленные в I главе исследования позволили сделать вывод о том, что качество многокомпонентных кондитерских масс (МКМ) определяется реологическими характеристиками, к которым, в первую очередь, относится консистенция (глава 1, п.п.1.2.1 -1.2.11, п.1.4). Консистенция характеризует степень густоты, плотность высоковязких жидкостей и полутвёрдых материалов (шоколадные, помадные массы, сахарный сироп, карамельный сироп и др.).

Существует несколько определений термина консистенции: 1.Консистенция - это совокупность свойств вязких жидкостей, не имеющая четкого физического значения и обозначающая подвижность (густоту) материалов и веществ [18]. 2.Консистенция – это физическое состояние жидких и твердых тел в отношении их мягкости или твердости и плотности, характеризующее их однородность [170].

Консистенция определяет текстуру и структуру продукта, делая его более приятным на вкус и однородным в приготовлении. Когда продукт имеет однородную консистенцию, это означает, что все его составляющие равномерно смешаны, что позволяет достичь оптимального вкуса и качества. Важность однородной консистенции проявляется во многих кондитерских продуктах. Например, в шоколадных, помадных массах она позволяет достичь гладкой и кремообразной текстуры, благодаря чему эти массы лучше смешиваются с другими ингредиентами и равномерно распределяются в готовом продукте. Однородность помогает сохранить продукт дольше, так как отсутствие неровностей и воздушных пузырей помогает предотвратить окисление и изменение вкуса. Наконец, эстетически, продукты с однородной консистенцией выглядят более привлекательно и аппетитно. Обеспечение однородной консистенции является важным аспектом при производстве кондитерских изделий. Она не только улучшает внешний вид и вкус продукта, но и облегчает его использование и обработку [174, 228]. Потребители часто оценивают продукты не только по их вкусу, но и по их текстуре, поэтому внимание к консистенции является необходимым шагом для достижения высокого качества продуктов.

Вхождение показателя консистенции в ГОСТы (ГОСТ 4570-2014 «Конфеты. Общие технические условия» и ГОСТ 5897-90 «Изделия кондитерские. Методы определения органолептических показателей качества, размеров, массы нетто и составных частей»), в качестве наиболее информативного, наиболее значимого

органолептического показателя, характеризующего состояния ТП приготовления многокомпонентных кондитерских масс (МКМ) показало необходимость решения задачи автоматизации контроля консистенции этих масс в потоке.

Таким образом, круг задач, для которых необходим автоматический контроль консистенции МКМ в потоке весьма обширен. Нет практически ни одного производства кондитерской продукции, которое бы не нуждалась в цифровых автоматических консистометрах.

Как было отмечено выше, существующие в настоящее время методы органолептической оценки консистенции не пригодны для использования их в ИСА-КиУ качеством МКМ [34, 37, 41]. Учитывая вышесказанное, нами разработаны конструкции нескольких вариантов автоматических цифровых консистометров.

Принцип действия разработанных приборов основан на определении консистенции по степени пенетрации. И в качестве показателя реологических свойств служит время, в течение которого чувствительный элемент (ЧЭ) определенных размеров и формы под действием постоянной нагрузки погружается в исследуемый продукт, проходя при этом строго фиксированное расстояние. Разработка такого прибора, по нашему мнению, является очень перспективной, так как время перемещения ЧЭ на заданном участке может быть измерено с большой степенью точности, а аппаратура, применяемая для его регистрации, наиболее надежна. Кроме того, простота преобразования временного интервала в код исключает применение промежуточных преобразователей в цепи «консистенция-код» и позволяет достаточно легко создавать приборы контроля консистенции с цифровым отсчетом.

Разработанный прибор состоит из трех блоков: первичного измерительного преобразователя, блока управления и цифрового индикатора консистенции исследуемой массы. Структурная схема консистометра (рисунок 3.36) включает следующе основные элементы: автоматический преобразователь консистенции (АПК), в котором измеряемая консистенция преобразуется во временной интер-

вал (счетчик импульсов), и устройства преобразования информации (УПИ), в котором временной интервал преобразуется в цифровой отсчет в единицах консистенции.

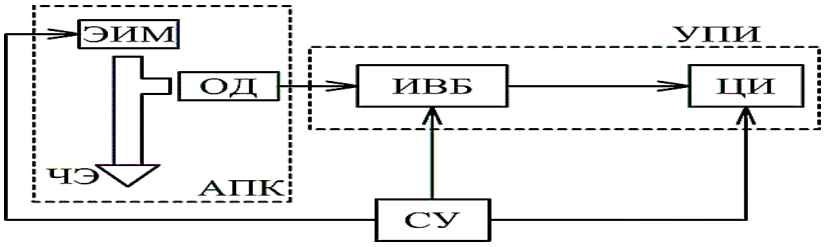


Рисунок 3.36 - Структурная схема цифрового консистометра

Данный консистометр работает следующим образом. С помощью электромагнитного исполнительного механизма (ЭИМ) и схемы управления (СУ) формируется возвратно-поступательное движение чувствительного элемента (ЧЭ). При измерении консистенции ЧЭ погружается в исследуемую массу под действием постоянной нагрузки и возвращается в исходное положение автоматически с помощью ЭИМ. Отметчики движения (ОД) формируют информацию о времени движения ЧЭ на заданном участке пути. Информация поступает в измерительно-вычислительный блок (ИВБ), где производится преобразование временного интервала в код, соответствующий консистенции исследуемой массы. После преобразовательно -вычислительных операций, выполняемых ИВБ, результат измерения в цифровом виде в единицах консистенции фиксируется на цифровом индикаторе (ЦИ). Структурная схема цифровой регистрации консистенции исследуемых МКМ представлена на рисунке 3.37.

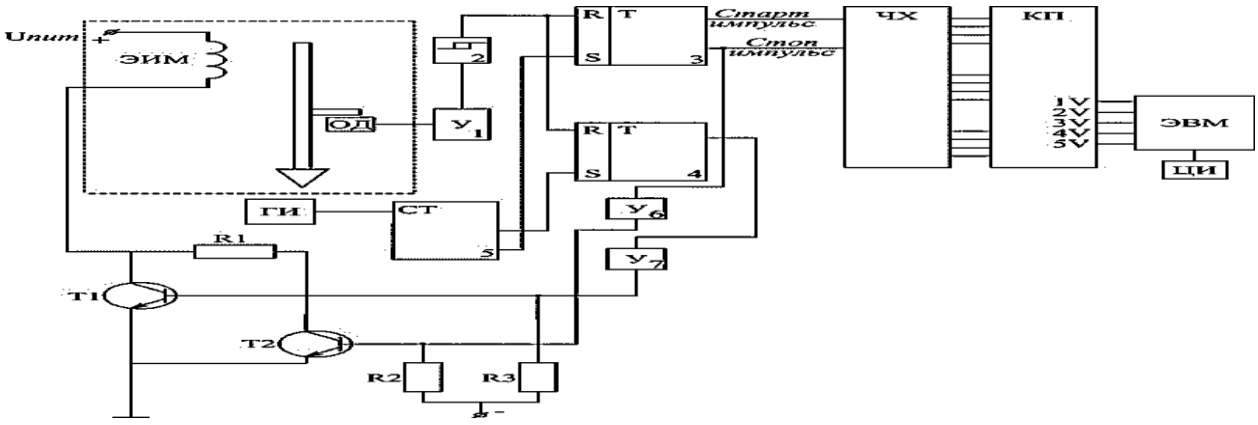


Рисунок 3.37 - Схема цифровой регистрации консистенции

Схема работает следующим образом. Генератор импульсов (ГИ) подает импульсную последовательность на вход счетчика (СТ), который формирует сигналы, поступающие на входы триггеров 3 и 4. Последние через усилители 6 и 7 с помощью транзисторов Т1 и Т2 типа КТ610, управляют питанием ЭИМ, подавая на него напряжение двух меняющихся уровней: $U_{пит.}$; 0. Режим работы транзисторов Т1 и Т2 задается резисторами R1, R2, R3. Триггер 4 устанавливается в исходное положение, на ЭИМ подается питание $U_{пит.}$. При этом ЧЭ притягивается электромагнитом, возвращаясь в первоначальное положение. Далее цикл работы схемы автоматически повторяется. В результате в каждом цикле измерения ЧХ регистрирует время движения ЧЭ. С выхода ЧХ информация пересылается в память ЭВМ, после чего на цифровом индикаторе мы получаем величину измеряемой консистенции исследуемой массы. ЧЭ описанного прибора являются сменные насадки различной формы и размеров, которые позволяют определять на данном приборе консистенцию различных МКМ в широком диапазоне их изменения.

Были проведены исследования влияния формы ЧЭ консистометра на погрешность измерения консистенции. Установлены и подобраны оптимальные для каждой МКМ насадки. Анализ полученных данных показал, что для большинства МКМ наилучший результат дает применение ЧЭ с углом 15 и 30°. При этом наблюдается достаточно глубокое внедрение ЧЭ в исследуемую массу даже при незначительных нагрузках ЧЭ. Полученные при этом результаты хорошо согласуются с данными по консистенции исследуемых масс пенетрометра фирмы «Лабор» (ВНР) модификация ОВ-205.

Проведенные исследования позволили получить следующую техническую характеристику разработанного консистометра:

предельное напряжение сдвига, Па	до 10^8
относительная погрешность, %	±2,5
напряжение питания, В	220 ± (10-15)%
частота тока, Гц	50±1
температура окружающего воздуха, ^{0}C	0 ÷ 50

относительная влажность окружающего воздуха, %, не более	80
габаритные размеры, м, не более	
- первичный преобразователь консистенции	0,14 х 0,10 х 0,32
- блок управления	0,13 х 0,11 х 0,20
масса, кг	4,5

Второй вариант цифрового консистометра состоит из двух автономных, конструктивно законченных блоков, соединенных между собой: первичного преобразователя консистенции (рисунок 3.38) и блока цифровой индикации и автоматизации (рисунок 3.39).

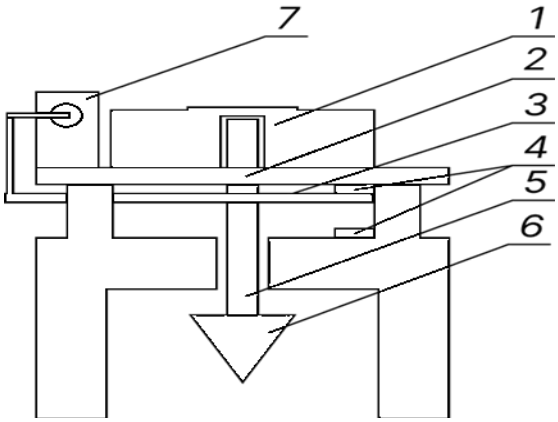


Рисунок 3.38 - Структура первичного преобразователя консистометра

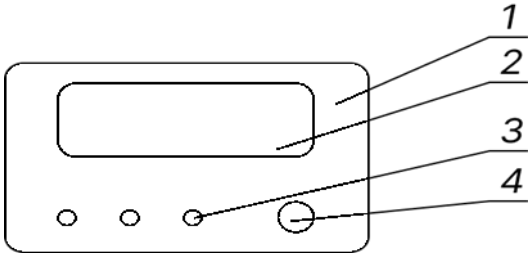


Рисунок 3.39 - Блок цифровой индикации и автоматизации

Внутри первичного преобразователя консистометра (рисунок 3.39) на пластиковом основании 2 смонтированы: электромагнитная муфта 1, перемещающая вал 5 с чувствительным элементом 6; ограничительная планка 3, выполняющая роль ограничения перемещения датчика положения, зафиксированная на валу; верхний и нижний датчик положения 4 (герконы); механизм возврата вала 7. Конструкция прибора позволяет менять размеры и конфигурации ЧЭ на валу в зависимости от необходимого диапазона измерения консистенции и условий работы.

Внутри пластикового корпуса 1 блока цифровой индикации и автоматизации (рисунок 3.40) смонтированы: дисплей 2 для отображения информации, блок кнопок 3 для управления и настройки прибора и рукоятка 4 для подстройки и

регулирования параметров цифрового прибора. Также в корпусе размещены микропроцессор и периферийные модули для управления устройствами.

В основу работы данного цифрового прибора автоматического контроля консистенции заложено два алгоритма - определение расстояния, которое проходит вал с ЧЭ за фиксируемый промежуток времени, либо определение времени прохождения вала с ЧЭ на фиксированное расстояние. С помощью математических расчетов полученные значения преобразуются в показатель консистенции. Контроль расстояния осуществляется с помощью ЦВК и СКЗ. Принцип работы цифрового консистометра поясняют схемы, приведенные на рисунке 3.40.

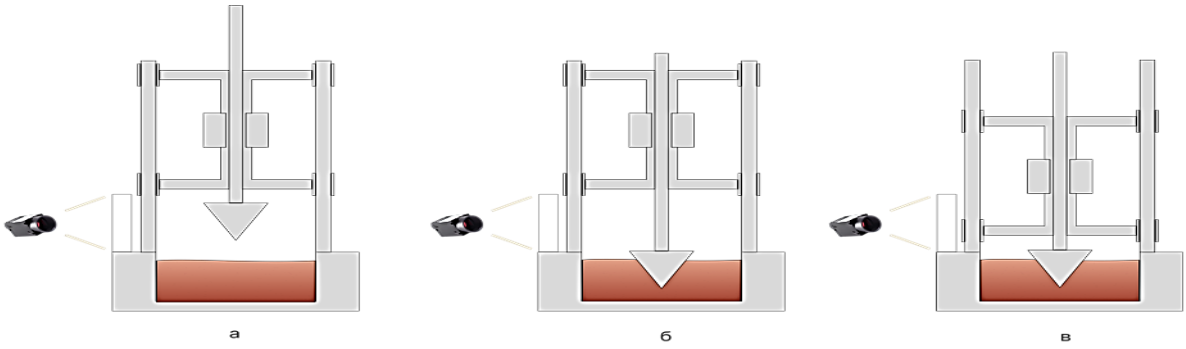


Рис. 3.40. Принцип работы цифрового консистометра

Структура цифрового консистометра показана на рисунке 3.41.

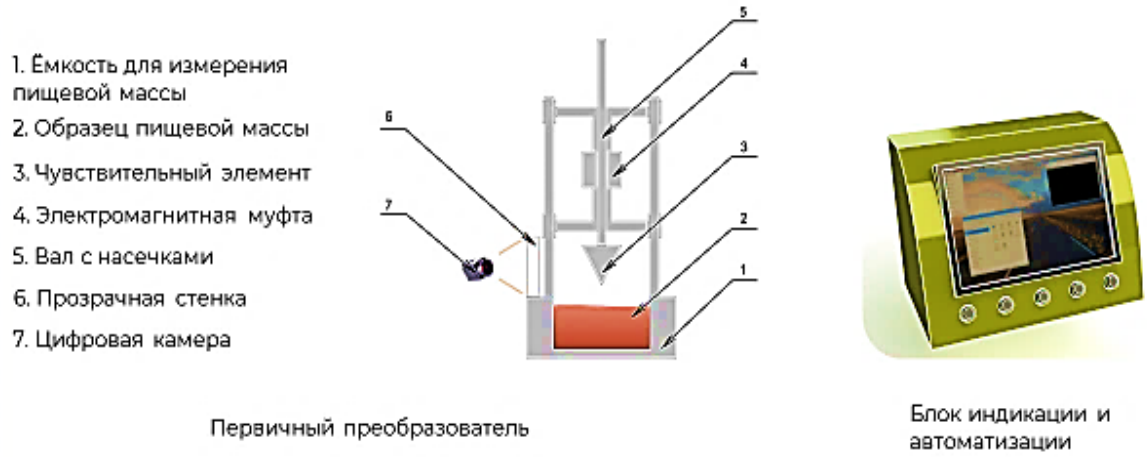


Рисунок 3.41 - Структура цифрового консистометра

Как видно из рисунка, цифровой прибор состоит из двух автономных, конструктивно законченных блоков, соединенных между собой: первичного преобразователя и блока цифровой индикации и автоматизации.

Первичный преобразователь цифрового прибора состоит из емкости для измерения 1, чувствительного элемента с конусным наконечником 3, электромагнитной муфты 4, вала с насечками 5, прозрачной стенки 6, цифровой камеры 7 и др. элементов, необходимых для функционирования цифрового прибора. Конструкция прибора позволяет выполнять забор образца контролируемой кондитерской массы 2 из потока полуфабриката на производственной линии и возвращать его обратно за счет исполнительных механизмов – задвижек, насосов, труб.

В качестве управляющей основы блока индикации и автоматизации была использована платформа Raspberry PI 4 Model B. Данное устройство — — это полноценный одноплатный компьютер размером с банковскую карту. В качестве управляющего микропроцессора был выбран кристалл на базе архитектуры Cortex M0+. В качестве готовой архитектуры была выбрана RP2040.

Микрокомпьютер, реализует разработанный нами алгоритм, управляет ЭМ муфтой, шаговым двигателем, фиксирует с помощью камеры перемещение вала с ЧЭ, выполняет функцию оценки времени его перемещения, применяя машинное зрение для расчетов. Позволяет выводить информацию в виде графического отображения на дисплее и управляет модулем захвата образца исследуемой массы из производственного потока на различных этапах производства продукта. В качестве готовой платы для реализации консистометра была выбрана плата Raspberry PI Pico W в связи со встроенным модулем беспроводной связи Wi-Fi.

Для реализации алгоритма работы консистометра необходимы дополнительные модули. Они представлены на рисунке 3.42. Это дисплей 2, драйвер шагового двигателя 3, цифровая камера 4, модуль реле 5.

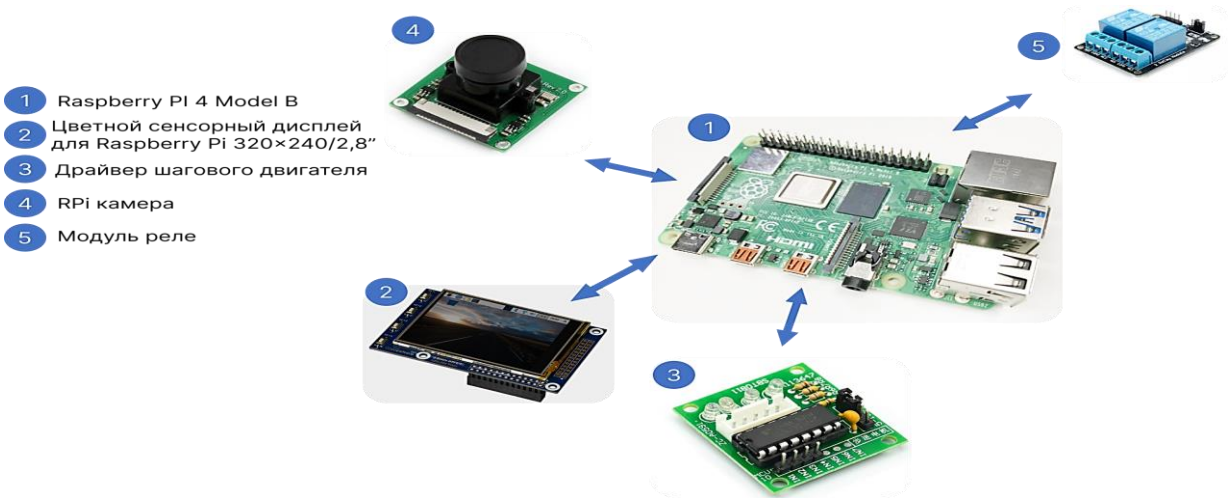


Рисунок 3.42 - Блок индикации и автоматизации

Дополнительные модули необходимы для вывода информации на дисплей, управления устройствами задвижек, управления шаговым двигателем, определения перемещения вала с чувствительным элементом или времени машинным зрением.

На рисунке 3.43. представлена разработанная схема подключений дополнительных модулей с микрокомпьютером Raspberry PI 4 Model B.

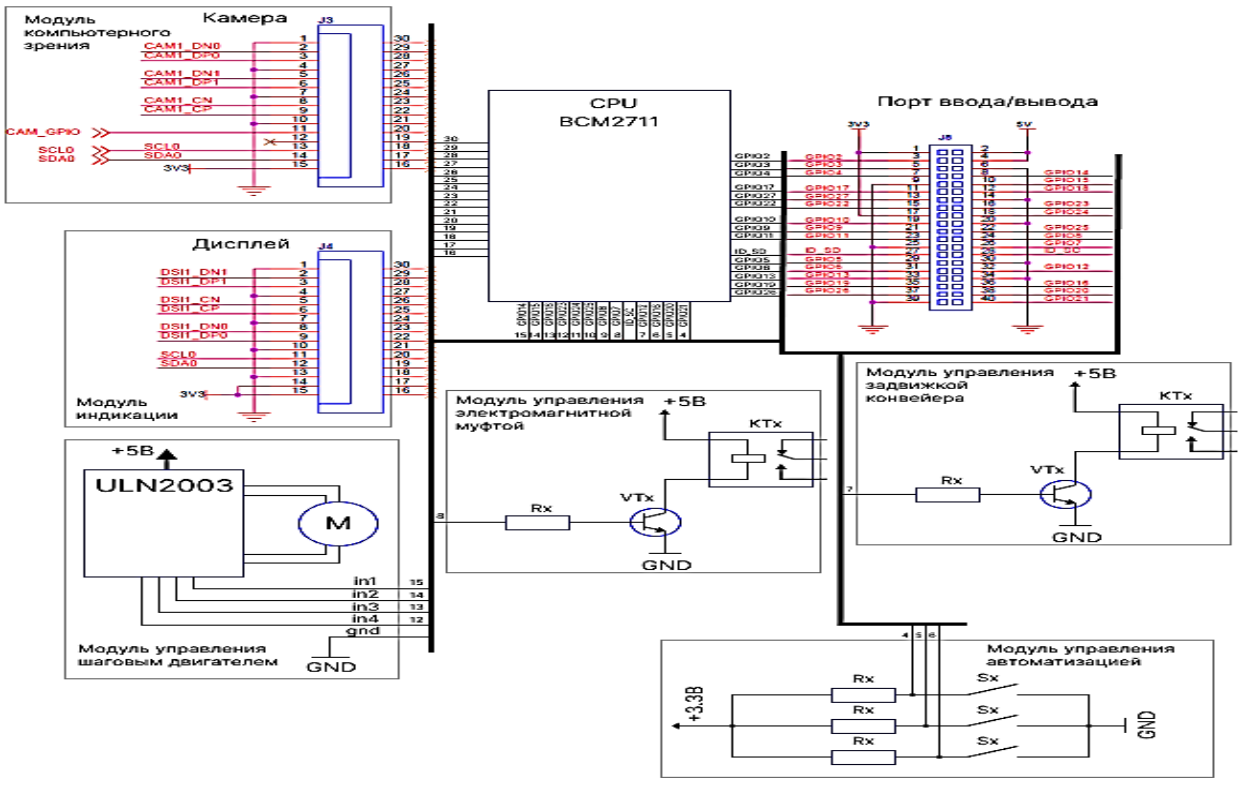


Рисунок 3.43 - Схема подключений блока автоматизации

Алгоритм работы цифрового прибора представлен на рисунке 3.44.

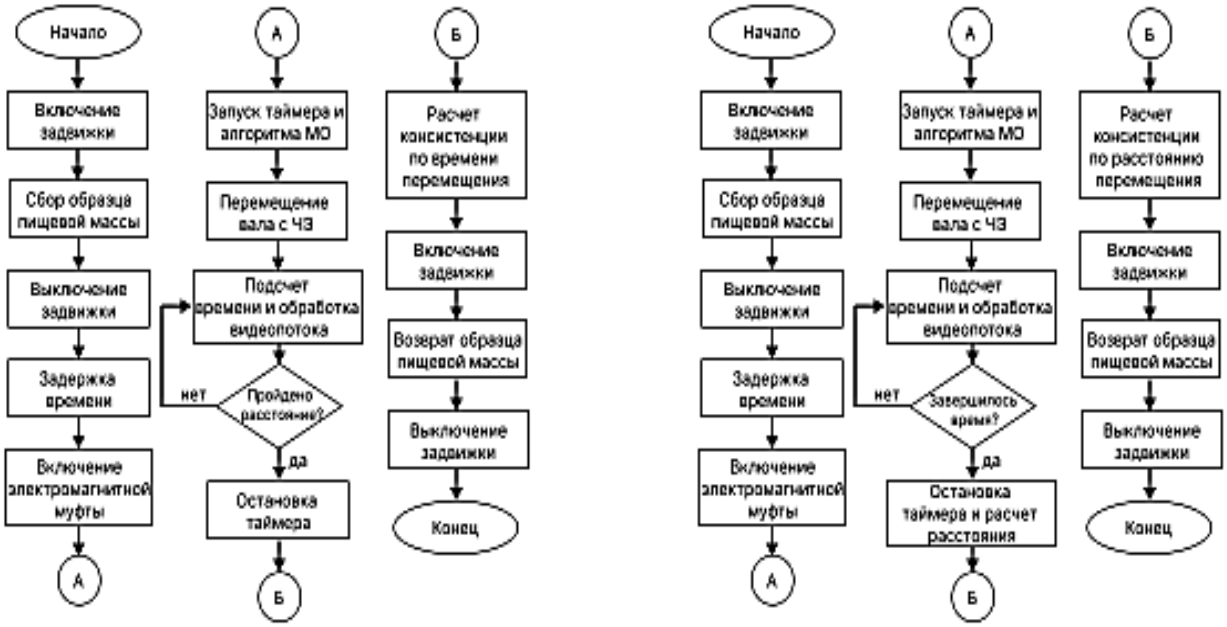


Рисунок 3.44 - Алгоритм работы цифрового консистометра

Основной алгоритм работы цифрового консистометра следующий. После подачи напряжения на цифровой блок автоматизации на панели индикации выводится сообщение о возможности начать измерение. Прибор будет ожидать либо нажатия кнопки “Старт” модуля управления автоматизацией. Получив сигнал начала измерений, микроконтроллер Raspberry PI PICO W подает напряжение на модуль управления задвижкой для получения образца кондитерской «контролируемой» массы с конвейера. Получив необходимый объем кондитерской массы для измерения, задвижка закрывается с помощью того же модуля. После некоторой задержки времени, которая необходима для уменьшения влияния потока полуфабриката и стабилизации колебаний исследуемой массы, формируемой программно- управляющим микроконтроллером, подается сигнал для перемещения емкости с образцом кондитерской массы, погружая вал с чувствительным элементом в исследуемую массу для дальнейшего замера.

После стабилизации исследуемой массы, подается напряжение на электромагнитную муфту для перемещения вала сверху вниз за счет собственного веса

ЧЭ. Одновременно с подачей напряжения на муфту запускается внутренний таймер для подсчета времени. Время микропроцессором считается до того момента, пока вал не переместится в нижнюю точку датчика границы. При достижении ЧЭ нижней границы микроконтроллер Raspberry PI PICO W останавливает внутренний таймер для подсчета полученного времени.

Время свободного перемещения ЧЭ в исследуемой кондитерской массе непосредственно зависит от консистенции данной среды, так как МКМ с различной степенью пенетрации оказывает различное воздействие на свободно перемещающийся в ней ЧЭ. Таким образом, время свободного перемещения ЧЭ на строго фиксированное расстояние показывает величину консистенции измеряемой МКМ массы. Результаты измерения в цифровом виде высвечиваются на дисплее. С дальнейшим погружением ЧЭ в МКМ цифровая камера будет фиксировать его перемещение по насечкам на валу. При этом блок автоматизации начнет отсчет времени для нахождения линейного перемещения ЧЭ в образце исследуемой массы за фиксированное расстояние. На рисунке 3.45 справа представлен алгоритм, где рассчитывается расстояние прохождения ЧЭ за фиксированное время и затем блок автоматизации рассчитывает значение консистенции и выводит его на дисплей.

Для возвращения вала с ЧЭ каретка с ЭМ муфтой перемещается в нижнее положение. Блок автоматизации включает ЭМ муфту для фиксации вала и с помощью шагового двигателя перемещает вал в начальное положение. После этого образец МКМ по обратным каналам возвращается на производственную линию.

Часть программной реализации алгоритма работы цифрового консистометра представлена на рисунке 3.45.

IDE: Visual Studio Code

Языки программирования: Python



Рисунок 3.45 - Программная реализация алгоритма работы консистометра

Было проведено исследование контроля консистенции на различных кондитерских массах (сахарный сироп, помадный сироп, шоколадная масса и другие МКМ) с использованием данного прибора, который показал стабильность получаемых результатов и приемлемую погрешность в ±1,5 %.

В дальнейшем исследования будут направлены на интеграцию данного прибора в линию производства например, шоколадных масс для тестирования, отладки и дополнения функционала данного прибора с возможностью подключения его к сети АСУП предприятия. Пример возможной схемы установки автоматического цифрового консистометра на темперирующей машине при производстве шоколадных масс показан на рисунке 3.46.

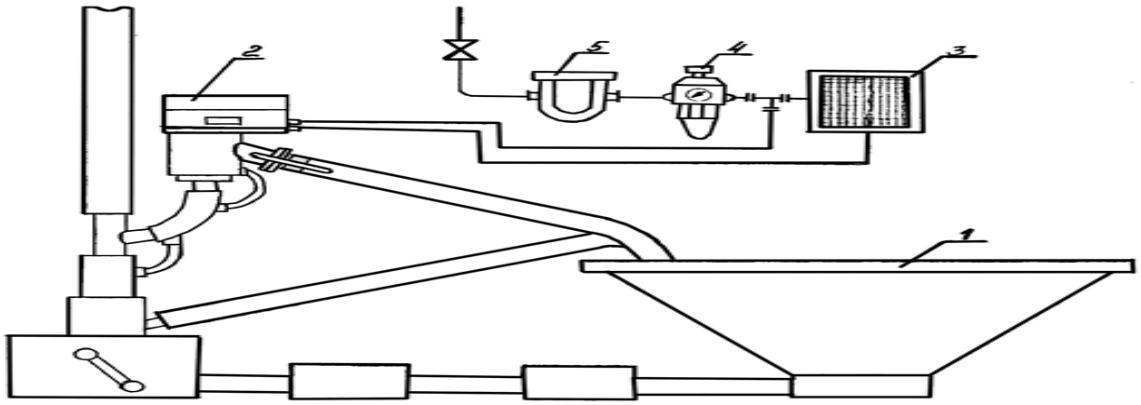


Рисунок 3.46 - Пример использования консистометра на производстве
1 – темперирующая машина, 2 – консистометр, 3 –блок индикации

Описанный прибор может с успехом применяться при контроле в потоке консистенции и текстуры различных кондитерских масс.

В связи с перспективностью автоматического измерения консистенции в режиме реального времени на линии производства была разработана структура еще одного варианта цифрового консистометра, который может быть использован для контроля состояния высоковязких кондитерскиых масс с возможностью интеграции в систему промышленного интернета вещей.

Для реализации возможности интеграции консистометра с IIoT и другими промышленными системами был использован стандартизированный протокол связи, например, стандарт OPC UA. Используя библиотеки с реализацией OPC UA для Raspberry PI PICO W, исходный код был дополнен, в результате чего у данного цифрового консистометра появилась возможность интеграции в сети промышленного интернета вещей.

Для проведения экспериментов была выполнена сборка прототипа и загружено ПО. Прототип устройства был размещен в корпусе, разработанном с учетом дополнительных модулей. Корпус и дополнительные элементы фиксации были распечатаны на 3D принтере. На рисунке 3.47 представлен внешний вид собранного прототипа.



Рисунок 3.47 - Внешний вид прототипа консистометра как датчика IIoT

В качестве оболочки программного обеспечения IIoT консистометра была выбрана операционная система FreeRTOS. Данная операционная система позволяет минимизировать время обработки данных и их передачи.

Основные задачи (Tasks), которые выполняются в ОС FreeRTOS: клиент OPC UA, алгоритм работы консистометра, диагностика, синхронизация времени (клиент NTP).

В промышленных системах IIoT интеллектуальные датчики должны иметь возможность сквозной передачи данных для реализации многоуровневой сетевой архитектуры. На рисунке 3.48 представлено программное взаимодействие нескольких IIoT консистометров, объединенных последовательно друг с другом. Такое подключение позволяет легко масштабировать производственные мощности с минимальными денежными и трудозатратами.

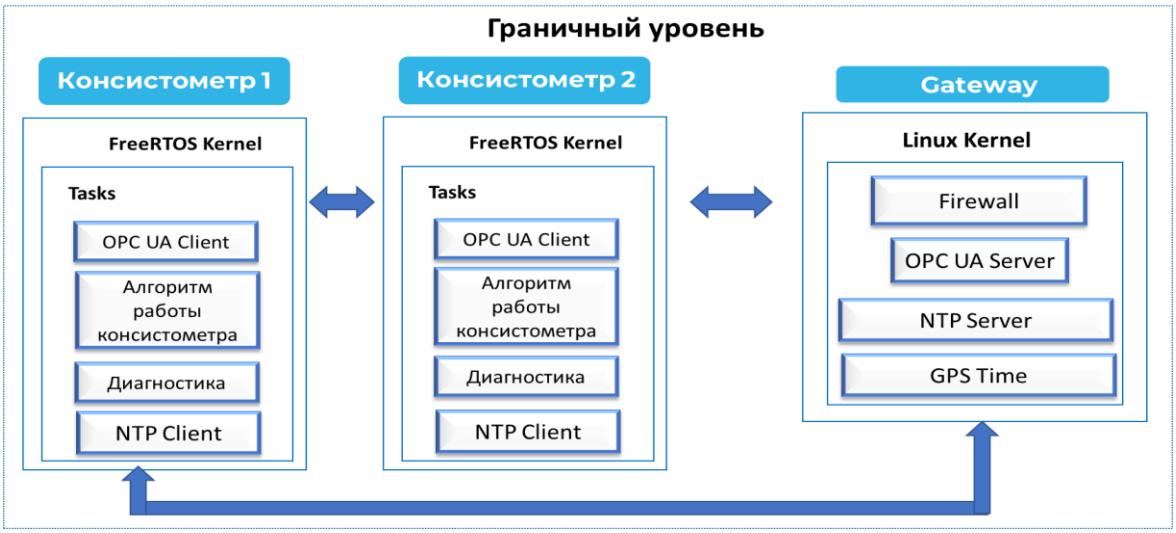


Рисунок 3.48 - Программная архитектура IIoT для нескольких консистометров

Все потоки данных с консистометров, вторичная обработка и фильтрация выполняются в «Gateway» устройстве. Каждый из консистометров синхронизирует время с NTP сервером, который находится в “Gateway” устройстве.

В результате разработки прототипа консистометра как интеллектуального датчика для применения в технологии Интернета вещей была подобрана внутренняя структура консистометра, выбран микроконтроллер Raspberry PI PICO W с Wi-Fi модулем для выполнения алгоритма и других функций цифрового прибора, а также периферийные модули для реализации алгоритма.

Разработан и реализован основной алгоритм работы консистометра на языке программирования C++. Были проанализированы стеки взаимодействия на

программном уровне и внедрены в ПО консистометра. Выполнено тестирование и отладка готового прототипа. Предложена архитектура подключения нескольких интеллектуальных цифровых консистометров как интеллектуальных датчиков промышленного интернета вещей.

На разработки «Модуль расчета консистенции с фиксированным таймингом» / В.Г. Благовещенский В.Г., Благовещенский И.Г., Кротов И.В./ и «Модуль машинного зрения для расчета консистенции» / В.Г. Благовещенский В.Г., Благовещенский И.Г., Кротов И.В/ было получено 2 свидетельства Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ (соответственно RU № 2025614754, 25.02.2025. Заявка № 2025613088, 20.02.2025 и № 2025615894, 11.03.2025. Заявка № 2025614363 от 05.03.2025).

Автоматический контроль консистенции пищевых масс в потоке производственных линий позволяет:

- оценить показатель консистенции в динамике производства кондитерских масс;
- улучшить качество контроля и снизить количество брака на производстве;
- внедрить интеллектуальные информационные технологии в кондитерскую промышленность на основании постановления Правительства Российской Федерации о цифровой трансформации отраслей кондитерской промышленности.

3.4.8. Автоматизация контроля вкуса

В соответствии с ГОСТ 4570—2014 «Конфеты. Общие технические условия» и ГОСТ 5897-90 «Изделия кондитерские. Методы определения органолептических показателей качества, размеров, массы нетто и составных частей», а также данных, полученных в разделе 3.2., одним из наиболее важных органолептических показателей качества кондитерских изделий является вкус.

Как отмечалось в п. 3.3.,разработкой методов автоматического контроля вкуса пищевых продуктов в потоке с использованием нейросетевых технологий занимались ученые кафедры «Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами» ФГБОУ ВПО «РОСБИОТЕХ» (ранее МГУПП):

Апанасенко С.И.[7, 8], Благовещенская М.М.[20 - 22, 24, 194, 221, 246], Благовещенский И.Г.[12, 21, 24, 60, 61, 194, 221, 246], Савостин С.Д.[221], Карелина Е.Б[133, 134]., Крылова Л.А. [31, 154], Благовещенский В.Г.[25, 28, 31, 34, 37, 39, 41, 45, 58, 154], Носенко С.М.[194], Шаверин А.В. [24, 194, 245, 246], Данными авторами была показана перспективность использования ИНС для контроля вкуса отдельных пищевых продуктов: кефира, творога помадных конфет, халвы, муки, сливочного масла, кваса.

В целях решения задачи дальнейшего развития автоматизации контроля вкуса кондитерской продукции разной структуры (твердой, желеобразной, аморфной и т.д.) в данной работе был проведен анализ и обобщение имеющихся разработок, учтен и проработан опыт проведенных исследований, использованы рекомендации, приводимые перечисленными авторами. Для дальнейшего развития имеющихся результатов нами был осуществлен выбор группы основных информационных параметров именно *кондитерских изделий разной структуры*, необходимый для формировании обучающей выборки и подбора затем оптимального количества наборов тестовых данных. Подбор структуры НС осуществлялся на основании особенностей поставленной задачи. На рисунке 3.49 представлена модель автоматизации контроля вкуса изделий [25]:



Рисунок 3.49 - Модель автоматизации контроля вкуса

$\bar{X}_{tec}$ – входной вектор параметров ТП производства кондитерских изделий;

$\bar{X}_{lab}$ – входной вектор качества сырья, полученных экспертами в лабораториях;

$\overline{X}_{qual}$ – входной вектор показатели качества сырья и полуфабрикатов.

$$\bar{Y} = F(\bar{X}_{tec}, \bar{X}_{lab}, \overline{X}_{qual}) \qquad (3.6)$$

$\overline{X_{qual}}$ определяется до начала производства и во время ТП = const. Поэтому

$$\bar{Y} = F(\bar{X}_{tec}, \bar{X}_{lab}) \qquad (3.7)$$

Стадии построения виртуального датчика контроля вкуса показаны на рисунке 3.49 [25].

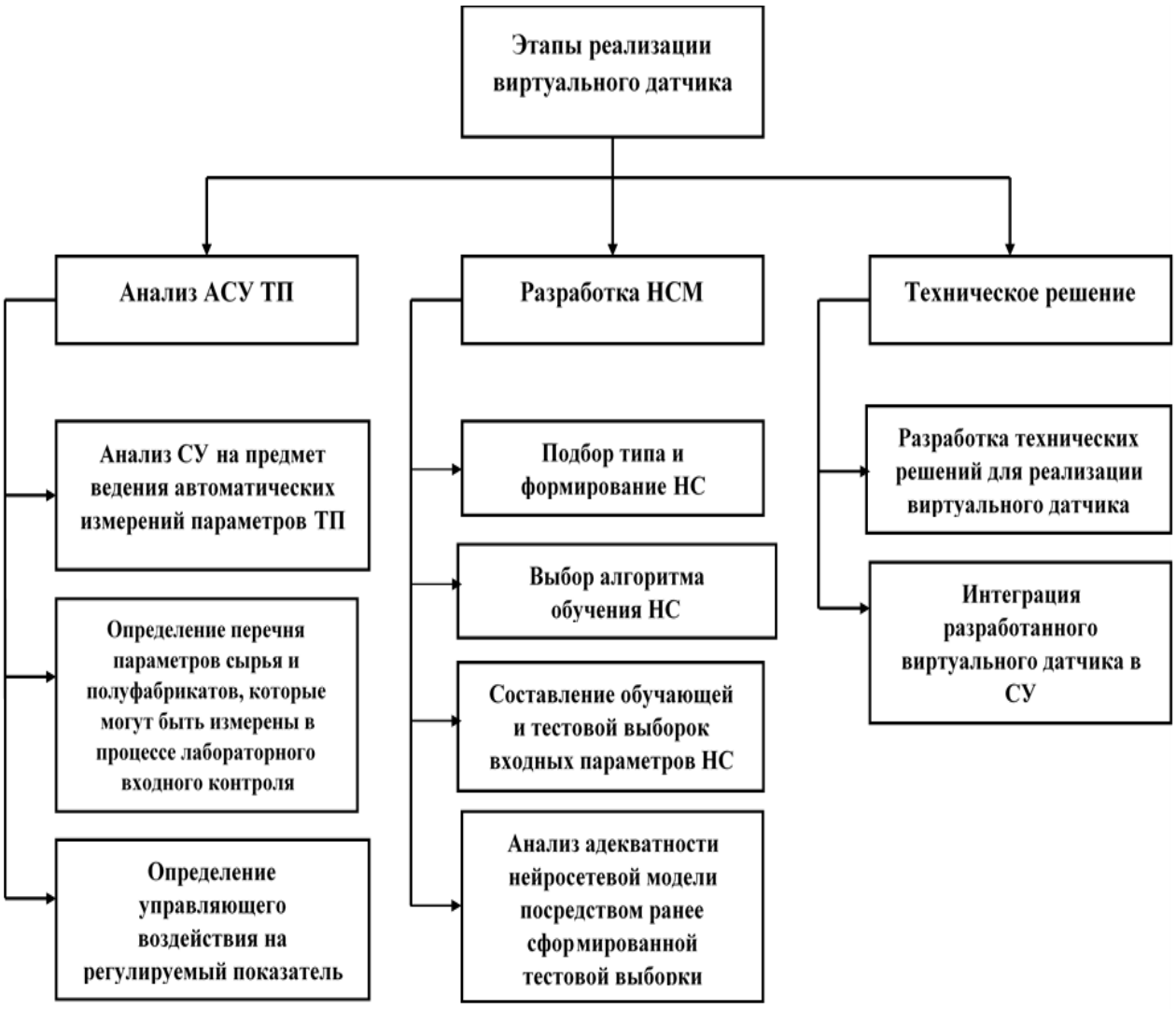


Рисунок 3.49 - Стадии построения виртуального датчика контроля вкуса

Проведенные экспериментальные исследования, показали перспективность применения для решения задачи автоматизации определения вкуса кондитерских изелий разной структуры многослойных НС прямого распространения, типа многослойный персептрон (рисунок 3.50).

В качестве алгоритма обучения сети был выбран градиентный метод обратного распространения ошибки, который является одним из наиболее эффективных методов обучения многослойных нейронных сетей [25].

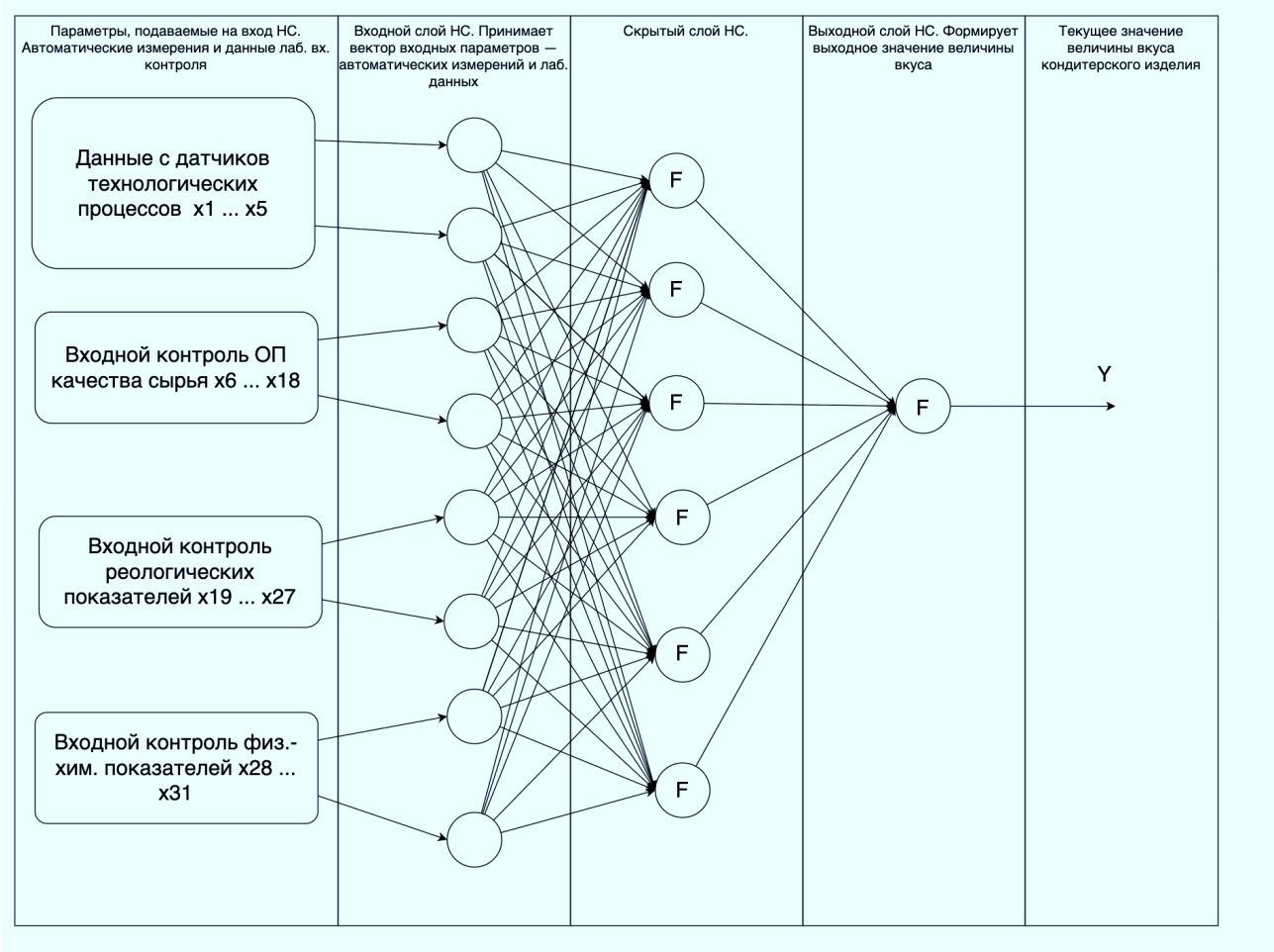


Рисунок 3.50 - Многослойные НС прямого распространения

Процесс обучения нейросети представлен на рисунке 3.51. По мере процесса обучения, который происходит по выбранному алгоритму, на протяжении работы сети минимизируется ошибка обучения.

Полученные НС данные были проверены экспериментально экспертами дегустаторами, путем подачи на вход сети тестовой выборки с целью определения заданной точности. Предел допустимой погрешности работы НС был выбран равным ±1,5%. По результатам проведенных исследований был разработан программно- аппаратный комплекс (ПАК) автоматического контроля в потоке вкуса кондитерской продукции. Процедура работы ПАК АК в потоке вкуса кондитерских изделий разной структуры показана на рисунке 3.52.

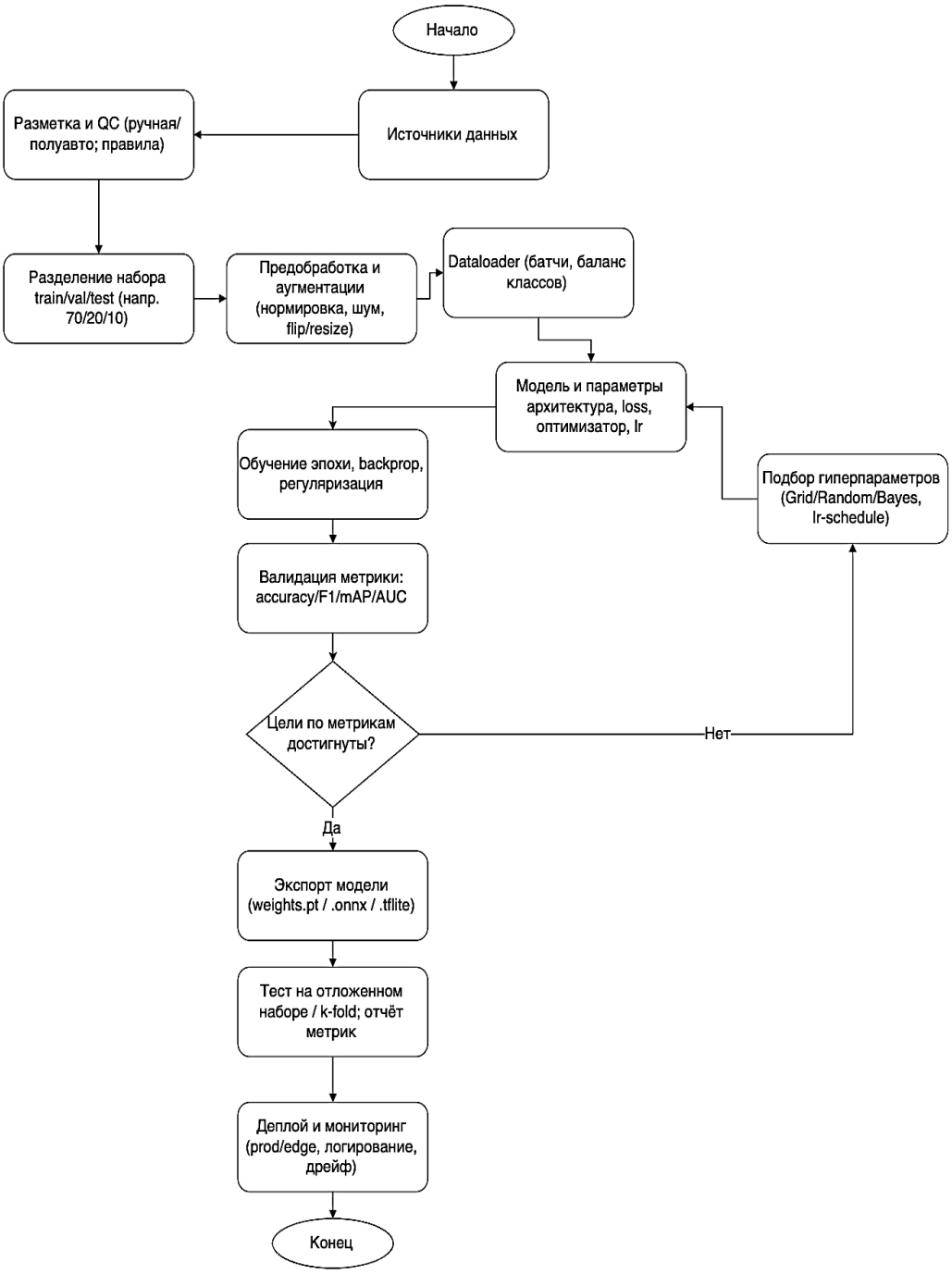


Рисунок 3.51 - Процесс обучения нейросети

ПАК является основным элементом ИСАКиУК кондитерской продукции и подробно описан в наших статьях [25 – 28, 31, 58, 154], где приведены апробированные методы, способы, алгоритмы, математическое и программное обеспечение создания виртуальных датчиков контроля в режиме реального времени вкуса различных кондитерских продуктов с использованием ИНС.

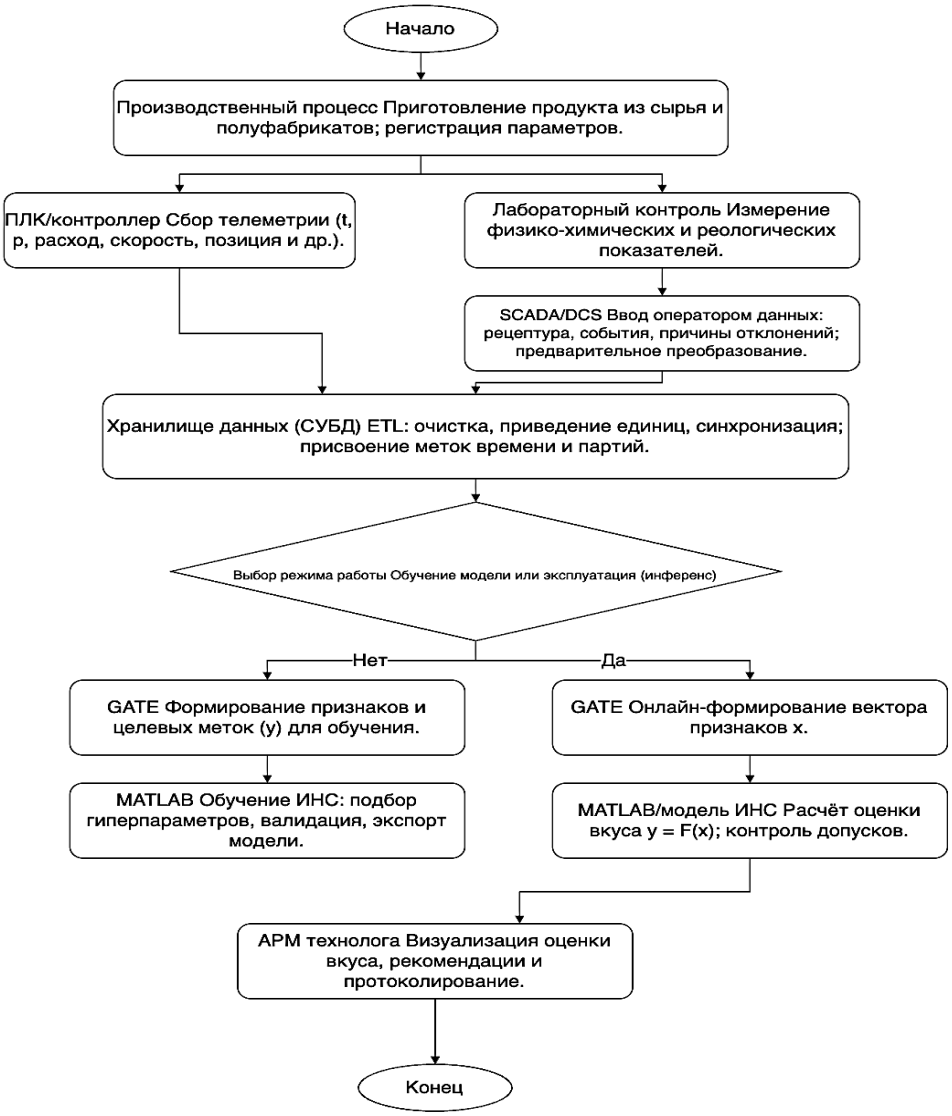


Рисунок 3.52 - Процедура работы ПАК

На разработку «Модуль расчета оценки вкуса кондитерских изделий на производстве»/ В.Г. Благовещенский В.Г., Благовещенский И.Г., Зеленова Е.Н., Кротов И.В./ было получено свидетельств Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ RU 2025682461, 22.08.2025. Заявка № 2025681278 от 09.07.2025.

3.4.9. Автоматизация контроля запаха

Еще одним важнейшим органолептическим показателем качества сырья и готовой кондитерской продукции является запах [173], входящий в ГОСТы на

разнообразную кондитерскую продукцию, которыми предусматриваются обязательный своевременный регулярный контроль данного показателя в процессе производства (таблица 1.7).

В 1 главе настоящего исследования (п.п.1.2 и 1.4), а также в 3 главе (п.п.3.1.2, 3.1.4) было показано, что существующие в настоящее время методы и способы оценки запаха различной кондитерской продукции субъективны и далеки от совершенства, поскольку эта оценка осуществляется органолептическим путем с использованием обоняния. При этом разные люди по-разному реагируют на одни и те же запахи, поэтому точность и достоверность таких значений зависит от квалификации и навыков лиц, определяющих их [132, 138, 173].

Успешное решение этой задачи возможно при внедрении в производственный процесс интеллектуальных систем автоматического контроля (ИАСК) в потоке данного органолептического показателя качества кондитерских масс с использованием искусственных нейронных сетей (ИНС). На рисунке 3.53 показана возможность АК запаха кондитерской продукции разной структуры с использованием нейросетевых методов и технологий.

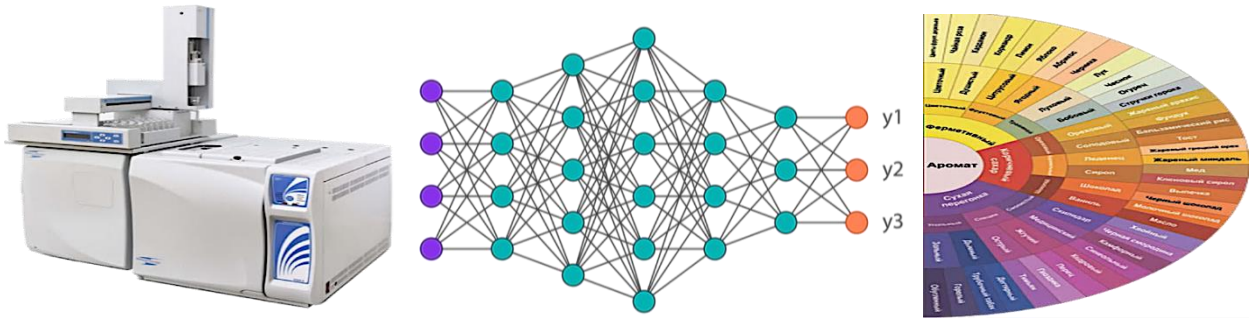


Рисунок 3.53 - Схема автоматического контроля запаха кондитерской продукции с использованием нейросетевых технологий

Данная система решает эту проблему, устанавливая «стандарт» для каждого требуемого запаха разнообразных кондитерских изделий (например таких, как шоколад, помадные и сбивные конфеты, халва, мармелад, карамель, зефир, козинаки, драже, ирис, ликерные конфеты), а также сырья, используемого для приготовления этой продукции (сахар- песок, сахар- рафинад, какао порошок,

ликер, водка, коньяк, кофе, молоко, яйца, орехи, семена подсолнечника, вода, свежие плоды яблок, апельсина, лимона, какао бобов и т.д.) [121, 173, 196, 203].

Структурная схема ИАСК запаха представлена на рисунке 3.54. Вся система будет разделена на два устройства: сервер и анализатор.

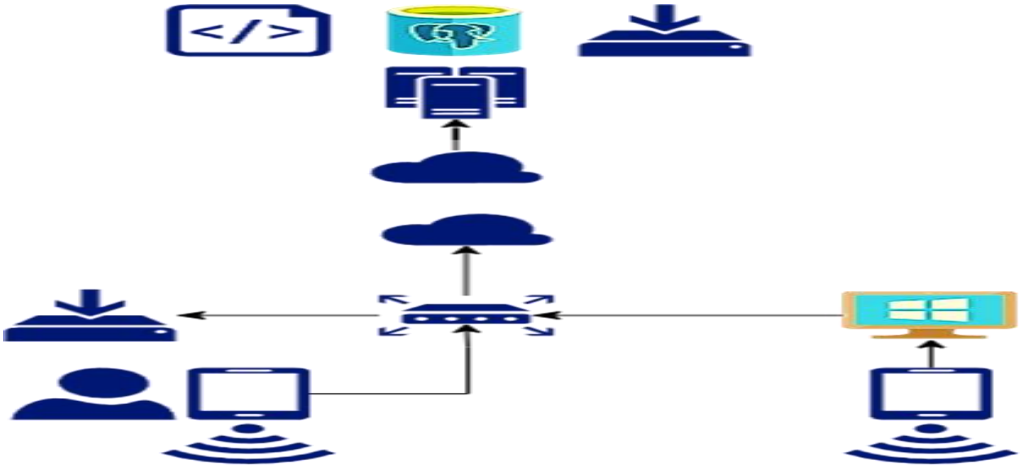


Рисунок 3.54 - Структурная схема ИАСК запаха

Система будет модульной, в ней имеется БД с множеством различных наборов для анализа запаха различной кондитерской продукции и сырья для ее производства. В каждый набор будут поставляться свои датчики и свое ПО. Модульная система обеспечивает: простоту настройки системы, небольшую стоимость.

Сервер интеллектуальной автоматизированной системы контроля (ИАСК) запаха (рисунок 3.55) может находиться, где угодно, но он должен быть подключен к системе. Подключение осуществляется через сеть интернет. Анализатор ИСАК запаха представлен на рисунке 3.56. Он может быть мобильным или стационарным.

Задачи ИСАК в режиме обучения: сканировать продукт, предлагать выбор результатов; передавать данные на сервер. В режиме контроля: хранить созданные данные модулей, выбирать из БД виды кондитерских продуктов, сырья, пользователей для анализа; выводить полученные результаты на экран/отправлять результат на ПК.



Рисунок 3.55 - Сервер ИСАК





Рисунок 3.56. Анализатор ИСАК запаха

Нами был собран прототип ИСАК запаха, написано ПО для сервера и анализатора; протестирована работоспособность системы, показавшая достоверность 90%. На основе проведенных исследований была разработана аппаратная схема ИАСК запаха, представленная на рисунке 3.57.

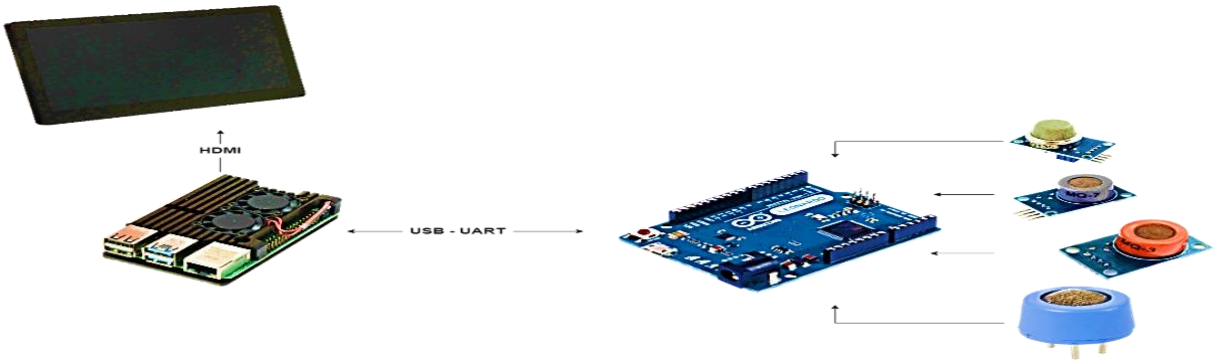


Рисунок 3.57 - Аппаратная схема ИАСК запаха

Программные требования к микрокомпьютеру Raspberry Pi 4, располагающему несколькими портами USB 3.0, без которых невозможно подключение накопителей, представлены в таблицах 3.2 и 3.3.

Таблица 3.2

№	Параметр	Минимальное рекомендуемое значение
1	Операционная система	Ubuntu 20.04
2	Архитектура (разрядность) ОС	32/64-bit
3	Количество ядер процессора	4
4	06bEM onepaTHBHOM TaMATH	8 Г6
5	Свободное дисковое пространство	120 Гб

Таблица 3.3

№	Программный компонент	Версия	Примечание
1	Python	3.9 и выше	На всех компонентах подсистемы должна быть одна версия дистрибутива
2	СУБД postgresql	14 и выше	На всех компонентах подсистемы должна быть одна версия дистрибутива
3	Nginx	1.18 и выше	

Программные требования к серверу ИАСК представлены в таблицах 3.4 и 3.5.

Таблица 3.4

№	Параметр	Параметр
1	Операционная система	Ubuntu Server 20.04
2	Архитектура (разрядность) ОС	64-bit
3	Количество ядер процессора	8
4	Обьём оперативной памяти	16 Г6
5	Свободное дисковое пространство	512Г6

Таблица 3.5

№	Программный компонент	Версия	Примечание
1	Python	3.9 и выше	На всех компонентах подсистемы должна быть одна версия дистрибутива
2	СУБД postgresql	14 и выше	На всех компонентах подсистемы должна быть одна версия дистрибутива
3	Nginx	1.18 и выше	

Анализ проведенных исследований показал необходимость создания БД о запахах различной кондитерской продукции и сырья для ее производства. Для проведения экспериментов и создания БД была выбрана собранная нами схема и исследованы выбранные нами продукты (лимоны и шоколад) для проверки работоспособности разработанного ИСАК запаха (рисунок 3.58).



Рисунок 3.58 - Кондитерские продукты для экспериментальных исследований

Схема разработанной БД представлена на рисунке 3.59.

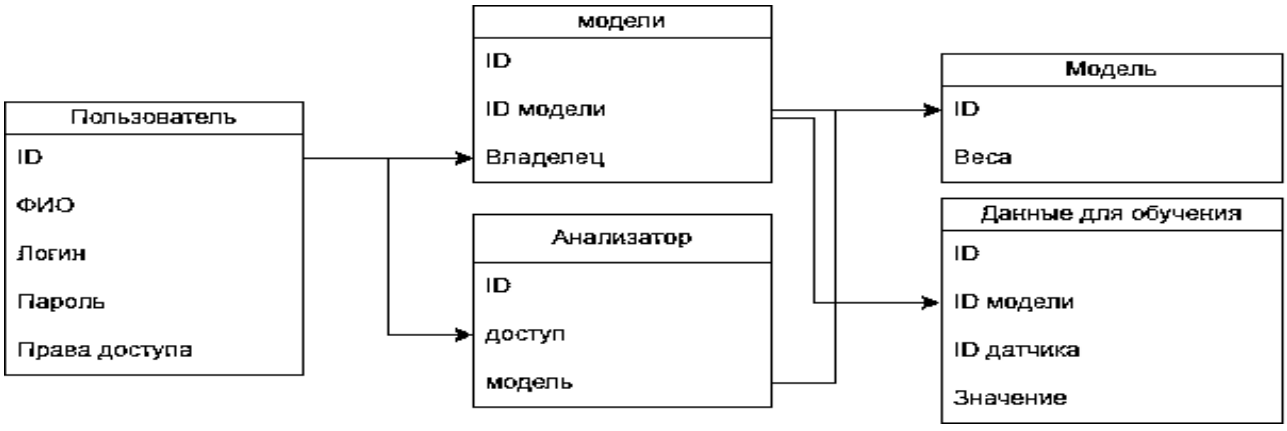


Рисунок 3.59 - Схема разработанной БД для проведения экспериментов.

Была разработана также нейронная сеть, представленная на рисунке 3.60.

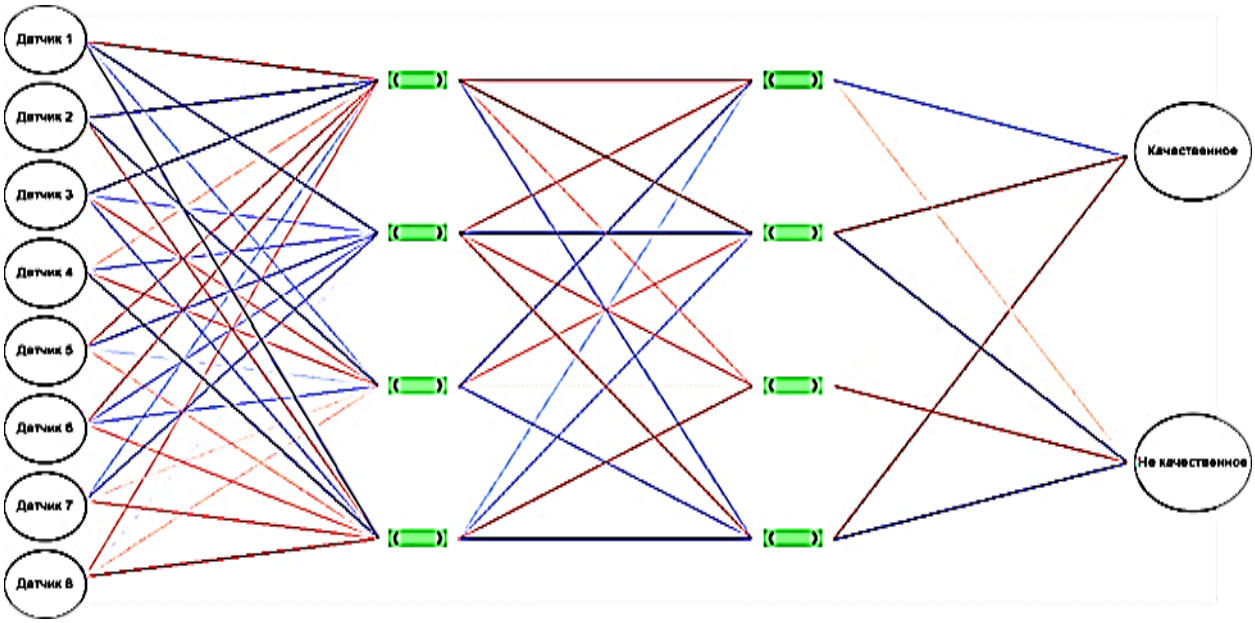


Рисунок 3.60 - Разработанная нейронная сеть

Схема программного обеспечения ИСАК запаха представлена на рисунке 3.61.

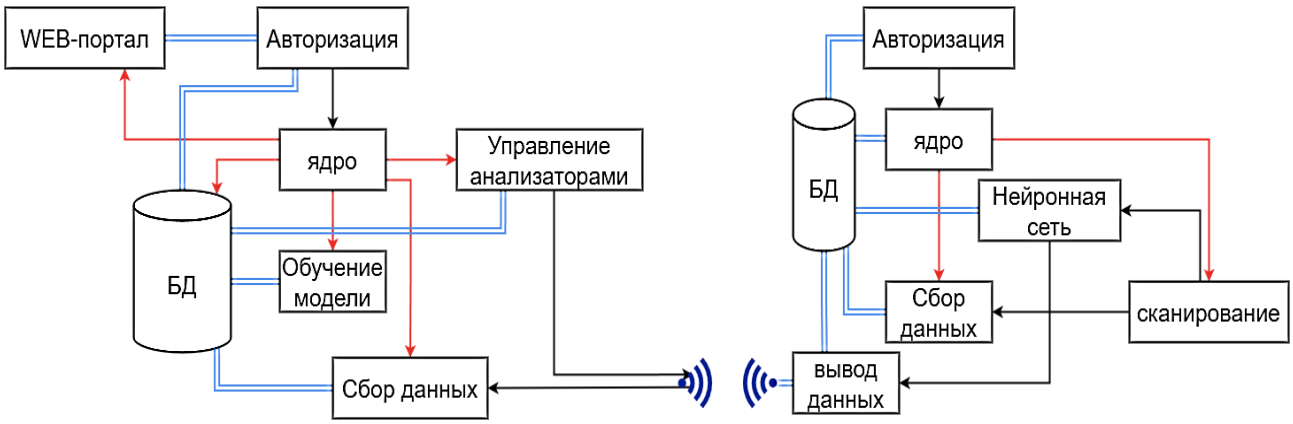


Рисунок 3.61. Схема программного обеспечения ИСАК запаха

На этапе *предварительной настройки* ИСАК запаха обучение нейронной сети производилось путем установления «стандартов» для каждого продукта требуемого запаха. Процесс обучения производится путем предъявления нейронной сети представительских выборок, состоящих из входного и выходного вектора нейронной сети. Роль входного вектора играет исследуемый вектор, сформированный по результатам измерений. Размерность выходного вектора соответствует количеству запахов, которые ИСАК должен распознать.

На этапе *тестирования* определяется насколько нейронная сеть качественно обучилась, а ИСАК способна достоверно распознавать предъявляемые ей запахи. Этапы предварительной настройки и тестирования, как правило, итерационные – если результат предварительной настройки не устраивает, то осуществляются необходимые изменения и настройка повторяется заново.

По результатам проведенного исследования было получено 2 свидетельства Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ «Программный модуль расчета для оценки запаха кондитерских изделий на производстве» / В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский, И.В. Кротов, Е.Н. Зеленова/ RU 2025683407, 03.08.2025. Заявка № 2025682609, 30.07.2025, а также «МИКРОСПЕКТР. МОДУЛЬ 2» /В.Г. Благовещенский, М.В. Васильев, А.В. Горшков, В.Г. Дементьев, А.А. Кузьмина, А.Ф. Моор/ RU № 2024613819 от 15.02.2024. Заявка от 15.02.2024.

Создание такой ИАСК запаха (программно- аппаратного комплекса) разрешит в течение всех стадий ТП производства кондитерской продукции проводить в режиме реального времени контроль этого важного органолептического показателя; обеспечит стабильность ТП производства кондитерской продукции; существенно уменьшит уровень брака, снизит потери рабочего времени, сырья и энергии, повысит качество выпускаемой продукции.

3.4.10. Автоматизация контроля цвета

Как показано в таблице 1.7, органолептический показатель качества «цвет» сырья, полуфабрикатов и готовой продукции входит во все ГОСТы на определение качества этих изделий. Нами разработана схема автоматического контроля цвета кондитерских изделий с использованием СКЗ, подробно описанная в нашей работе [25].

Для осуществления автоматического контроля цвета в режиме реального времени на линии производства кондитерских изделий, рассмотрим более подробно последовательность проведения СКЗ всех необходимых операций. Проведение анализа и обработки изображения цвета начинается с:

1) получения датасета фотографий цвета, сортов и текстуры исследуемых кондитерских изделий. Поэтому нами для автоматизации контроля в потоке цвета кондитерских изделий с использованием СКЗ были сформированы и исследованы изображения поверхности различных видов кондитерских изделий: шоколада, в том числе пористого (п.1.2.1.); сбивных конфет (п.1.2.3.); халвы (п.1.2.4.); мармелада (п.1.2.5.); карамели (п.1.2.6.); зефира (п.1.2.7.); козинаки (1.2.8.); драже (1.2.9.); ириса (п.1.2.10.) (подробно данные исследования и их результаты описаны в наших работах [25- 27, 31, 32, 34, 37, 39, 41].

На рисунке 3.63 представлены фрагменты изображений исследованного шоколада различных видов (обыкновенный - а; молочный - б; белый -в; пористый - г).

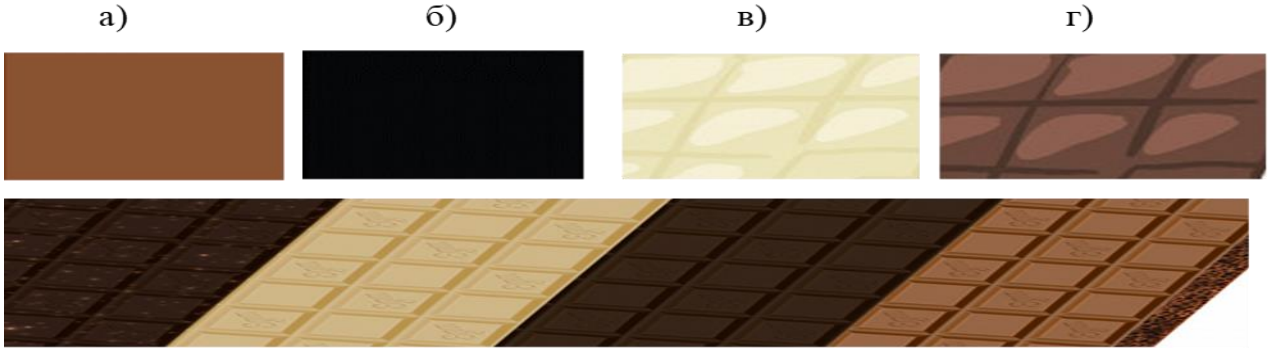


Рисунок 3.63 - Фотографии цвета исследованного шоколада различных видов

Проведенный анализ достоинств и недостатков работы различных операторов (Роберта, Собеля, Превитта, детектора границ Canny, алгоритма Canny, вейвлетных детекторов границ, гибридных детекторов границ, морфологических операторов) при использовании их для автоматизации контроля цвета кондитерской продукции позволил выбрать гибридный детектор границ.

Анализ полученных результатов приведен в таблице 3.6.

Таблица 3.6

Проверка различных методов на устойчивость к шумам

№ класса	CANNY	SOBEL	LAPLAS
1	1.20%	16.49%	14.22%
2	0.49%	16.34%	16.26%
3	0.37%	16.26%	17.02%
4	1.46%	5.07%	8.18%

5	1.62%	5.22%	8.10%

На основании проведённых тестов и анализа полученных результатов был сделан вывод, что наиболее привлекательными являются детекторы границ на основе метода Canny, т.к. они показывают наибольшую шумоустойчивость, точность локализации и передачи границ, который и был использован нами при разработке ПАК АК цвета кондитерской продукции.

На базе проведенных исследований был разработан ПАК автоматического контроля цвета, показанный на рисунке 3.64. Информация об изменении цвета визуальных характеристик Y(t) кондитерских изделий фиксируется ЦВК в момент времени t_n и передается на вход комплексного интеллектуального модуля сбора данных, системы обработки, хранения и принятия решений ИСАКиУК.

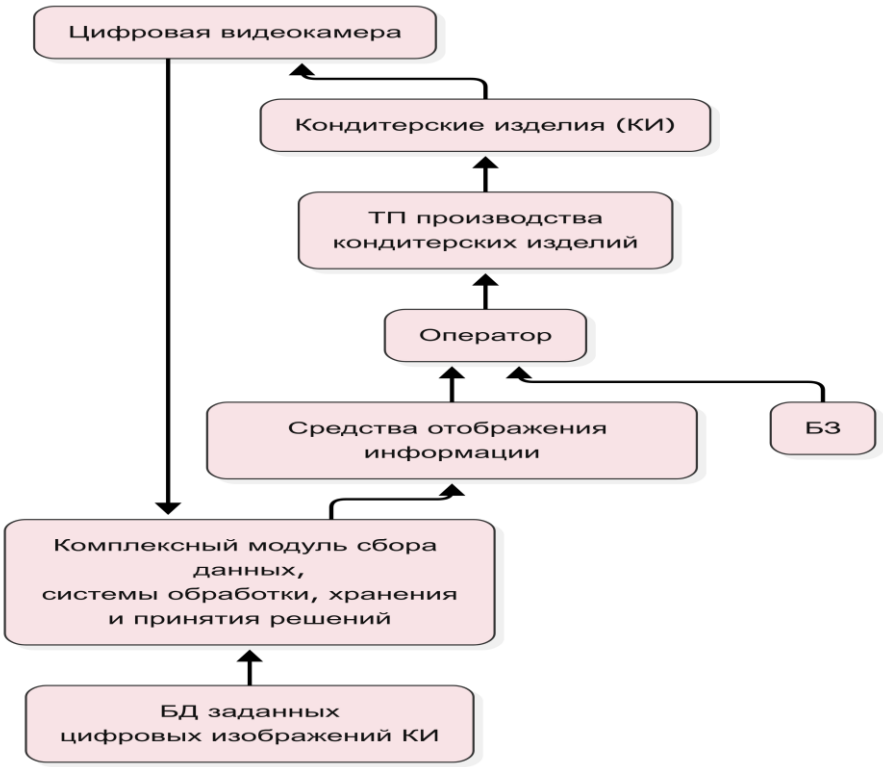


Рисунок 3.64 - Структура ПАК АК цвета кондитерских изделий

На рисунке 3.65 представлена блок - схема алгоритма принятия решения на соответствие цвета кондитерских изделий эталонному значению.

Проведенные нами исследования, подробно описанные в наших работах [25, 27,32, 35, 46, 50, 51], показали работоспособность разработанного ПАК АК цвета кондитерских изделий разной структуры.

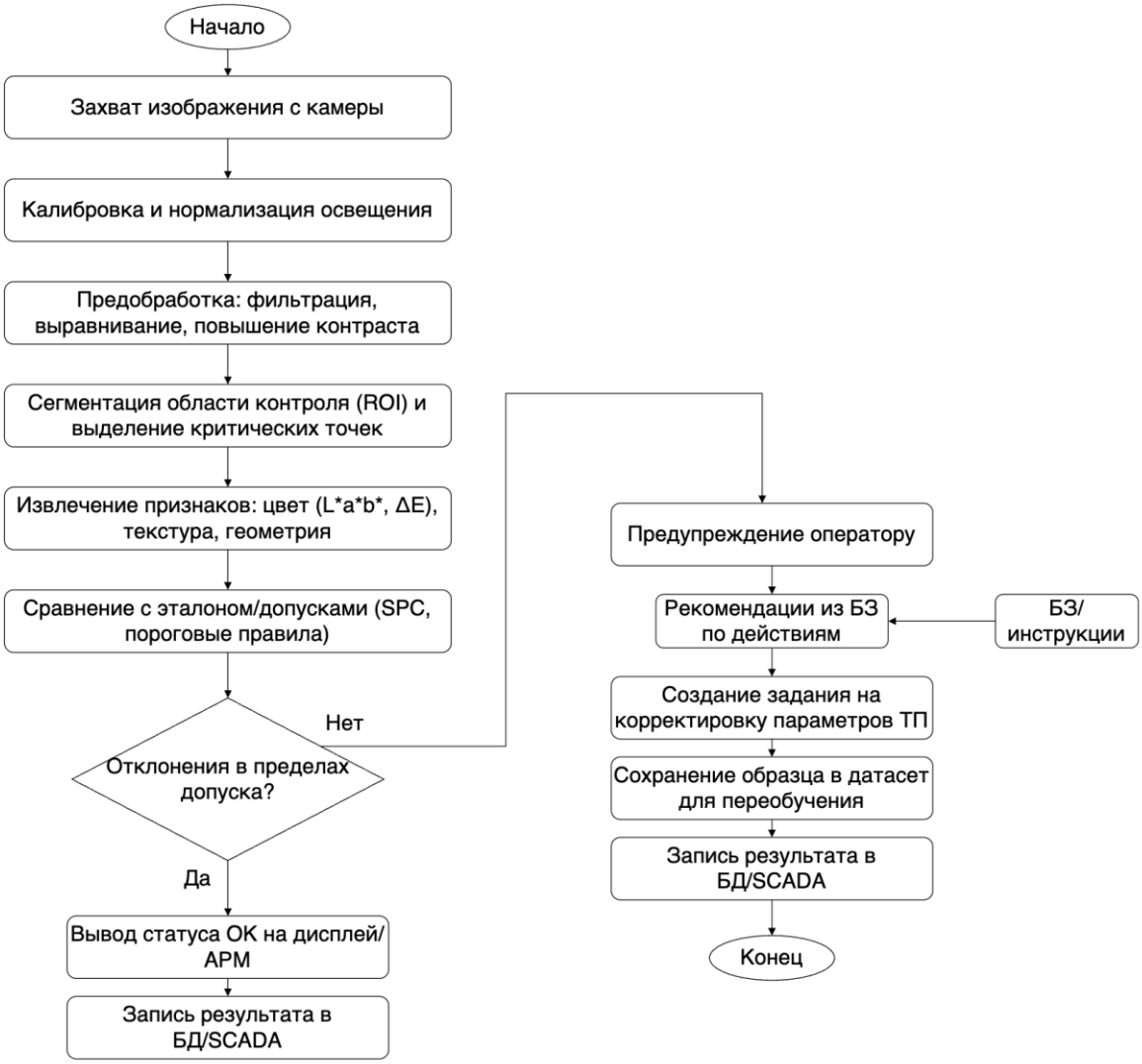


Рисунок 3.65 - Блок - схема алгоритма принятия решения на соответствие цвета кондитерских изделий эталонному значению

На основании проведенных исследований получено Свидетельство Роспатента о регистрации программы для ЭВМ RU № 2025666321, 25.06.2025 «Программа для оценки цвета кондитерских изделий».

3.4.11. Автоматизация контроля вязкости кондитерских масс

Проведенный в 1 главе анализ разнообразных ТП производства кондитерской продукции показал огромную роль контроля вязкости в процессах приготовления многокомпонентных кондитерских масс (МКМ), поскольку большинство стадий производства включают переработку дисперсных систем, коллоидных растворов, суспензий, различных упруго-вязко-пластичных материалов.

Вязкость также характеризует оптимальное протекание ТП и определяет качество как сырья, полуфабрикатов, так и готовых кондитерских масс [18 - 20].

Так, при приготовлении шоколадных масс о ее готовности и качестве судят по вязкости [18]. При производстве шоколадных конфет важно поддерживать в строго заданных пределах вязкость шоколадной глазури, которой покрывают конфеты. Отклонение от этих пределов приводит к выпуску некачественной продукции или избыточному расходу глазури [20]. Большое значение имеет знание вязкости при производстве подсолнечной халвы, так как позволяет предсказывать ее поведение во время обработки [25].

Измерения вязкости необходимо при приготовлении различных фруктовых и конфетных масс, а также при расчете предназначенных для их производства машин и аппаратов [202]. Непрерывный контроль вязкости необходим при приготовлении помадных и пралиновых масс, мармелада, фруктово-ягодных и других начинок [170]. Контроль качества сахарного сиропа, предназначенного для приготовления карамельных масс, проводят по величине вязкости [25, 38]. Вязкость является также важным параметром, характеризующим качество патоки, сахаро- паточного сиропа и фруктовых пюре [25, 43].

Большое значение имеет контроль вязкости какао масла и какао тертого при приготовлении шоколадных масс [11, 12]. Вязкость какао масла влияет на процесс прессования: чем она меньше, тем легче отделяется масло от твердых частиц какао [35, 60]. При оценке качества различных джемов, меда важную роль играет знание вязкости этих масс [227]. По величине вязкости также судят о качестве различных взбитых пищевых масс (белков, яблочного пюре, сливочного крема и т.д.) [196].

Таким образом, круг производственных процессов, для которых необходимо измерение вязкости кондитерских масс в потоке весьма обширен. Нет практически ни одной кондитерской отрасли, в которой отсутствовал контроль этого важнейшего показателя качества. В связи с важностью знания и учета реологических свойств, в таких измерениях заинтересованы практически все отрасли кондитерской промышленности. Создание ИСАКиУК кондитерских изделий невозможно без получения в потоке своевременной информации об основных показателях качества полуфабрикатов и готовой подукции, к числу которых, в первую очередь, относится вязкость.

Обзор существующих приборов контроля вязкости пищевых масс показал, что имеющиеся приборы не отвечают современным требованиям интеллектуализации, поскольку это лабораторные приборы, которые требуют отбора проб, темперирования исследуемых масс, длительного времени на проведение исследования и обработку полученных данных [207].

Поскольку вязкость является наиболее информативным, наиболее значимым показателем качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции, возникает необходимость в создании современных интеллектуальных средств контроля вязкости МКМ, работающих в производственных условиях в режиме реального времени и реагирующих на изменения технологических и режимных параметров процессов производства.

На рисунке 3.66 представлена разработанная конструкция автоматического ротационного вискозиметра, который может быть использован как на производстве в режиме реального времени, так и в научных исследованиях. На рисунке 3.67 показан внешний вид данного прибора.

Разработанный автоматический вискозиметр состоит из двух автономных, конструктивно законченных блоков, соединенных между собой: датчика вязкости и блока цифровой индикации. В основу работы датчика вязкости положено определение момента сопротивления, создаваемого исследуемой массой при вращении в ней тела (ЧЭ) определенной формы 5.

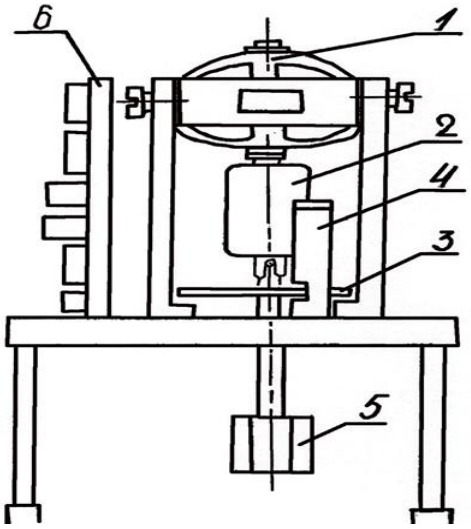


Рисунок 3.66 - Схема конструкции ротационного вискозиметра

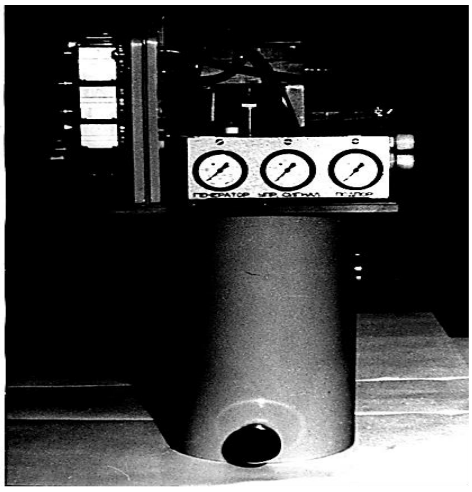


Рисунок 3.67 - Внешний вид ротационного вискозиметра

Внутри датчика вязкости смонтированы: электродвигатель 1, вращающий чувствительный элемент (ЧЭ) 5; электромагнитная муфта сцепления 2; соединяющая электродвигатель 1 с валом ЧЭ 5; диск 3 фототахометра с десятью отверстиями (прорезями), закрепленный на валу ЧЭ 5, помещенных в специальный патрон 4; электронный блок управления 6, предназначенный для определения момента достижения ЧЭ 5 заданной частоты вращения и управления работой прибора в целом; а также элементы электрической схемы. Конструкция прибора позволяет менять тела вращения, т.е. в зависимости от необходимого диапазона измерения вязкости и условий работы, на валу можно устанавливать ЧЭ различных размеров и конфигураций (цилиндры, диски, конусы различных размеров, и т.д.). При измерении вязкости ЧЭ первичного преобразователя помещается в измерительную ячейку с исследуемой массой, которая может быть, как проточной (при определении вязкости МПМ в потоке), так и не проточной (при определении вязкости в лабораториях). Вискозиметр питается от сети переменного тока напряжением 220В. Неотъемлемой частью цифрового ротационного вискозиметра является измерительная ячейка, представляющая собой сосуд для заполнения ее исследуемой массой, имеющий клапаны для ввода и слива массы, а также снабженный водяной рубашкой для термостатирования исследуемой массы (рисунок 3.69).

Органы управления (тумблеры "Вкл." и "Выкл.") и световая индикация (сигнализация включения прибора в сеть, сигнализация работы электродвигателя, сигнализация включения электромагнитной муфты сцепления) вынесены в переднюю часть корпуса на панель управления.

Представленный вискозиметр основан на точном измерении времени торможения ЧЭ до полной его остановки после отключения электродвигателя.

Принципиальная электрическая схема первичного преобразователя вязкости ротационного цифрового вискозиметра представлена на рис. 3.68.

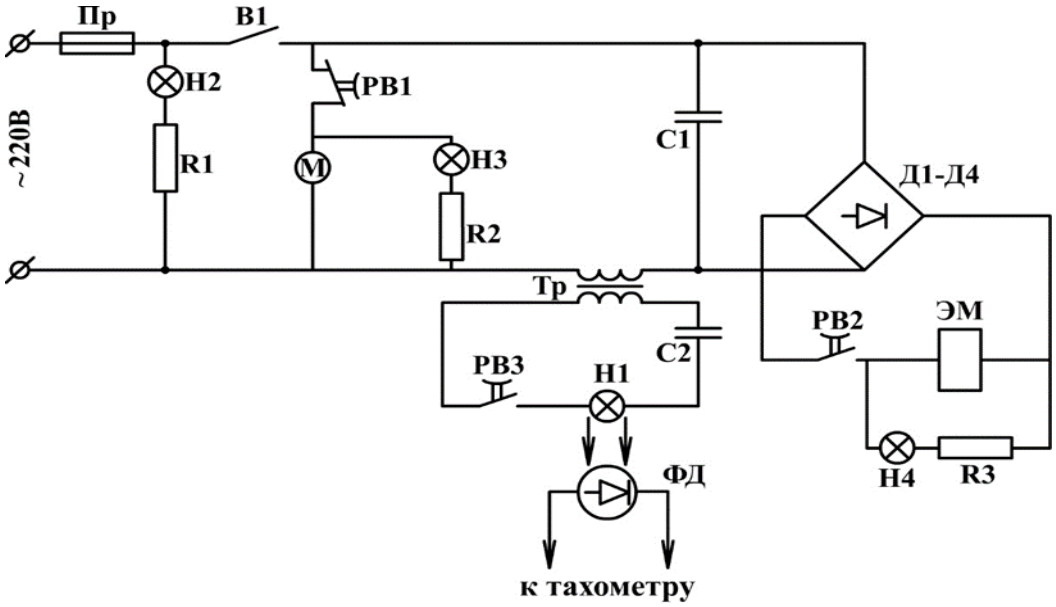


Рисунок 3.68 - Принципиальная электрическая схема первичного преобразователя вязкости ротационного вискозиметра

При включении прибора в сеть загорается лампочка $Н_2$, вынесенная на панель управления для контроля включения прибора в сеть. При включении тумблера $В_1$, расположенного также на панели управления, напряжение подается на электродвигатель М, при этом закрепленный на валу ЧЭ начинает вращаться. Контроль включения электродвигателя осуществляется лампой $Н_3$, вынесенной на панель управления. При достижении электродвигателем заданного числа оборотов на электронном блоке управления срабатывает реле времени. При этом одновременно размыкается контакт реле времени $РВ_1$ и замыкаются контакты $РВ_2$ и $РВ_3$. При размыкании контакта $РВ_1$ цепь питания электродвигателя обесточи-

вается, электродвигатель М отключается. При этом отключается и лампа $Н_3$. Одновременно с этим замыкается контакт $РВ_2$. Питающее напряжение подается на катушку электромагнитной муфты сцепления. Она срабатывает и разрывает механическую связь ротора электродвигателя с валом ЧЭ, при этом включается лампочка $Н_4$, находящаяся на панели управления. Электромагнитная муфта сцепления ЭМ питается напряжением 120 В постоянного тока. Для получения такого напряжения применяется выпрямительный мост на диодах $Д_1$ - $Д_4$. Конденсатор обеспечивает падение напряжения 220 В до 120 В. В схеме использован конденсатор $С_1$ неполярный 20мкфх400В. При замыкании контакта $РВ_3$ питание подается на $Н_1$, освещающую фотодиод ФД. $С_2$ используется в качестве гасящего сопротивления. Блок-схема алгоритма работы цифрового ротационного вискозиметра показана на рисунке 3.69.

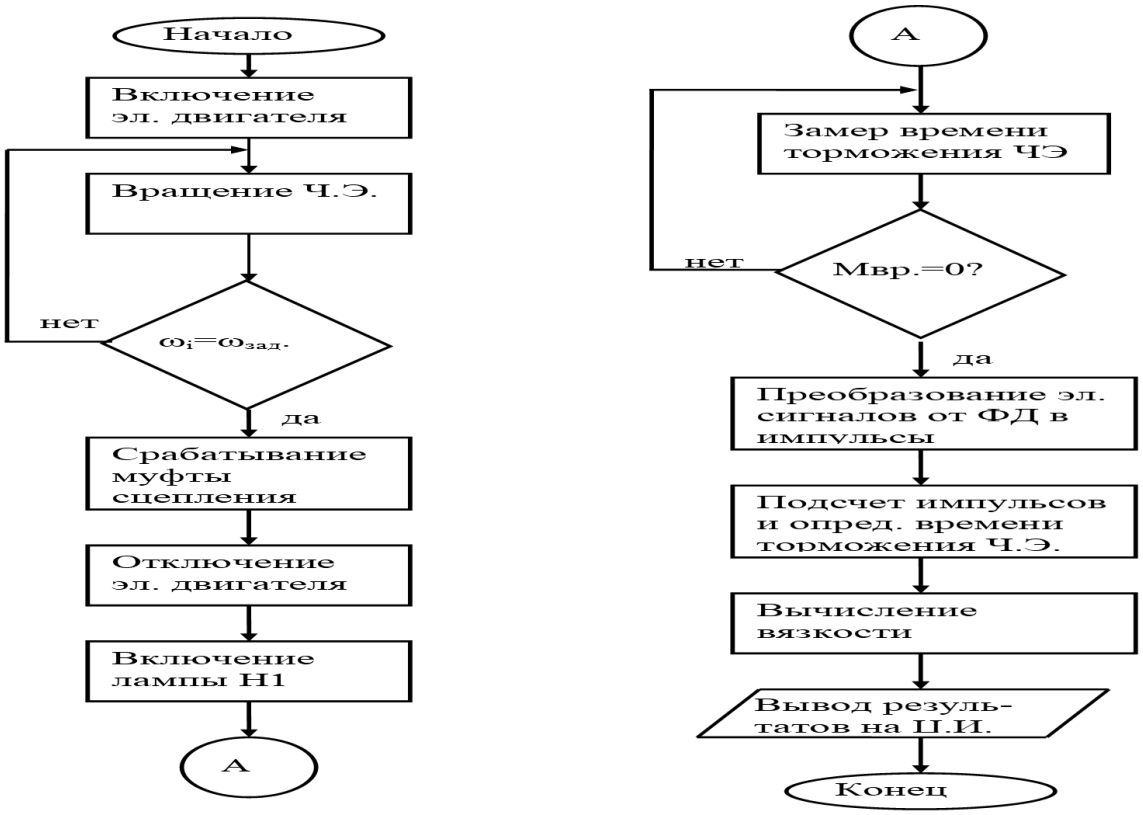


Рисунок 3.69 - Блок-схема алгоритма работы ротационного вискозиметра

Поскольку конструкция, форма и размеры измерительной ячейки оказывают значительное влияние на диапазон контролируемой вязкости пищевых масс

и погрешность результатов ее измерения, нами были проведены экспериментальные исследования по определению вязкости кондитерских масс при использовании измерительных ячеек различной формы, размеров, конструкций. Меняли также расположение клапанов для ввода и слива исследуемой массы, что приводило к изменению глубины погружения чувствительного элемента в контролируемую смесь. Анализ полученных данных позволил нам выбрать оптимальную форму измерительной ячейки (цилиндрическую), ее размер (Н= 0,25 м. ⌀ 0,20 м.), а также конфигурацию, размеры и местоположение чувствительного элемента, находящегося внутри измерительной ячейки.

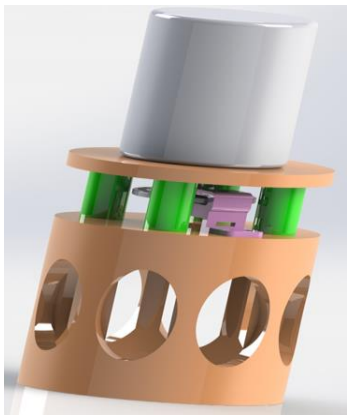
При этом была получена следующая техническая характеристика:

Предел измерения вязкости, Па с	2 ÷ 200
Относительная погрешность, %	±2,5
Напряжение питания, В	220±(5±10)%
Габаритные размеры, м, не более	
первичный преобразователь вязкости	0,35x0,12x0,25
блок индикации	0,25x0,10x0,08
Масса прибора, кг, не более	5,0

Подробное описание проведенных нами исследований по разработке ротационного цифрового вискозиметра с представлением принципиальной электрической схемы электронного счетчика импульсов и принципиальной электрической схемы реле времени, входящих в структуру этого вискозиметра, приведены в наших статьях [25 - 27, 34, 37, 54].

Выбранный метод измерения определяет функциональную структуру устройств, входящих в состав вискозиметра. Описанные выше элементы, входящие в состав вискозиметра, могут комбинироваться в различных сочетаниях.

Разработана модификация описанного цифрового ротационного вискозиметра для автоматического контроля высоковязких кондитерских масс в потоке с использованием программируемых технических средств (рисунки 3.70 и 3.71).



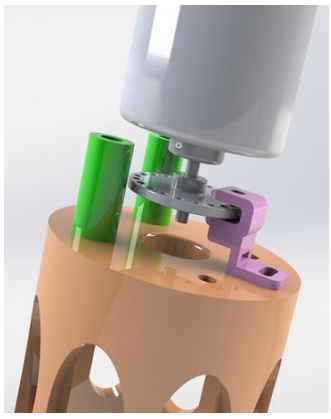


Рисунок 3.70 - Макет датчика вязкости



Рисунок 3.71 - Блок цифровой индикации и автоматизации

В вискозиметре была использована платформа Raspberry Pi 4. Основой данного прибора является микроконтроллер (рисунок 3.72), который реализует разработанный нами алгоритм, выполняет функцию счетчика импульсов от датчика, а также отображает информацию на дисплее LCD 1602 (рисунок 3.73) и управляет электромагнитной муфтой.



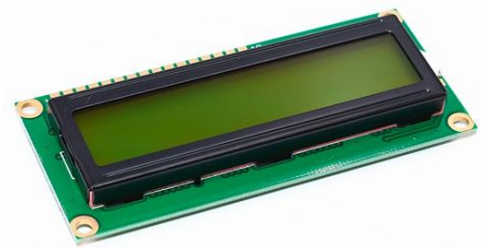


Рисунок 3.72 - Микроконтроллер Raspberry Pi 4. Рисунок 3.73 - Дисплей LCD

Внутри вискозиметра расположены микроконтроллер Raspberry Pi 4 (модуль автоматизации), модуль управления автоматизацией (кнопки), модуль индикации, модули управления электродвигателем и электромагнитной муфтой.

Прибор работает следующим образом. После подачи напряжения на цифровой блок автоматизации на панели индикации выводится сообщение о возможности начать измерение. Прибор будет ожидать нажатия кнопки старт модуля управления автоматизацией. Нажимая кнопку старт, микроконтроллер Raspberry Pi 4 подает напряжение на электромагнитную муфту.

Пример алгоритма на языке С представлен на рисунке 3.74.

```
#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++;
}
```

Рисунок 3.74 - Часть исходного кода алгоритма на языке С

Таким образом, было -проведено исследование и разработан прототип цифрового автоматического ротационного вискозиметра, позволяющего в режиме реального времени проводить контроль вязкости МКМ в потоке производственной линии с использованием программируемых технических средств. При этом полученные вискозиметром данные сохраняются в памяти прибора. Однако, подобные устройства имеют устаревшие шины и протоколы передачи данных. Это не позволяет выполнить интеграцию подобных устройств в современные IIoT конвейерные производства.

Поэтому остается острой проблема эффективного формирования, обработки и передачи данных в конвейерных линиях производственных систем пищевых предприятий. Классические решения имеют ряд недостатков, в частности, сложность интеграции, сохранения и передачи данных с датчиков конвейерных линий. Как было отмечено ранее, измерение вязкости МКМ на различных технологических участках является одним из ключевых критериев. В связи с этим существует актуальность проработки концепции создания современных цифровых автоматических вискозиметров с использованием технологий промышленного интернета вещей, что позволит избежать проблем интеграции и передачи данных в системы IIoT управления предприятием.

Для создания интеллектуального цифрового ротационного вискозиметра изучены возможности технологий интернета вещей. Использование подходов промышленного интернета вещей позволяет операторам и технологам гибко контролировать технологические параметры процесса (рисунок 3.75).



Рисунок 3.75 - Возможности датчиков вязкости на базе интернета вещей, работающих в потоке на линиях производства кондитерской продукции

Такой подход позволит: непрерывно контролировать вязкость в потоке;

-производить интеграцию в системы IIoT посредством стандарта OPC UA;

-передавать и регистрировать данные в ИСАКиУК кондитерской продукции;

-производить мониторинг и регистрацию неисправностей датчика с передачей информации в системы ТОиР;

-производить мониторинг состояния поверки датчика и его регистрацию в информационной системе АРШИН (онлайн-система Росстандарта).

Общая структура основных элементов разработанного интеллектуального ротационного вискозиметра на базе промышленного интернета вещей представлена на рисунке 3.76.

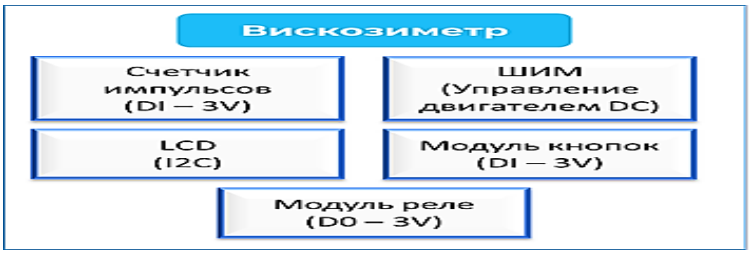


Рисунок 3.76 - Общая структура цифрового вискозиметра на базе IoT

Для возможности интеграции данного вискозиметра в сеть промышленного интернета вещей общая структура прибора была дополнена модулями ком-

муникации (Wi-Fi, Ethernet или др.). Также проведен анализ существующих протоколов связи для интеграции вискозиметра в системы IIoT, ЛИМС, АРШИН и другие. Разработанная структура вискозиметра с дополненными модулями коммуникации представлена на рисунке 3.77.

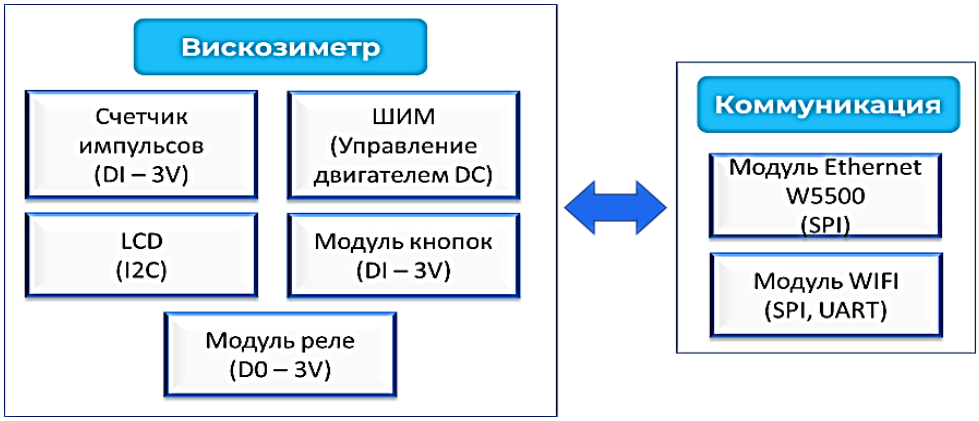
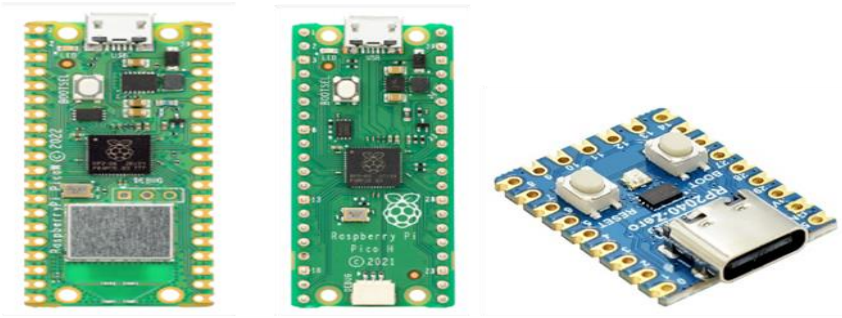


Рисунок 3.77 - Структура вискозиметра с коммуникационными модулями

В качестве управляющего микропроцессора был выбран кристалл на базе архитектуры Cortex M0+. В виде готовой архитектуры была выбрана RP2040, которая имеет несколько модификаций – Raspberry PI Pico W(рисунок 3.78а), Raspberry PI Pico (рисунок 3.78б) и Raspberry PI Pico Zero (рисунок 3.78в).



(а) (б) (в)

Рисунок 3.78 - Варианты модификаций микроконтроллера Raspberry PI Pico

В качестве готовой платы для реализации вискозиметра была выбрана плата Raspberry PI Pico Zero в связи с ее минимальными размерами, имеющая следующие характеристики: платформа RP2040; CPU ARM Cortex M0+ (2x 133 МГц) 32бит; RAM: 264 КБ; Flash-память: 2 МБ; 26 GPIO; 2 x UART; 2 x SPI; 2 x I2C; 16 каналов ШИМ; часы реального времени (RTC); датчик температуры; входное напряжение питания 3,3-5В.

Осуществлен выбор дополнительных периферийных модулей, используемых для реализации необходимых функций IoT вискозиметра (рисунок 3.79).

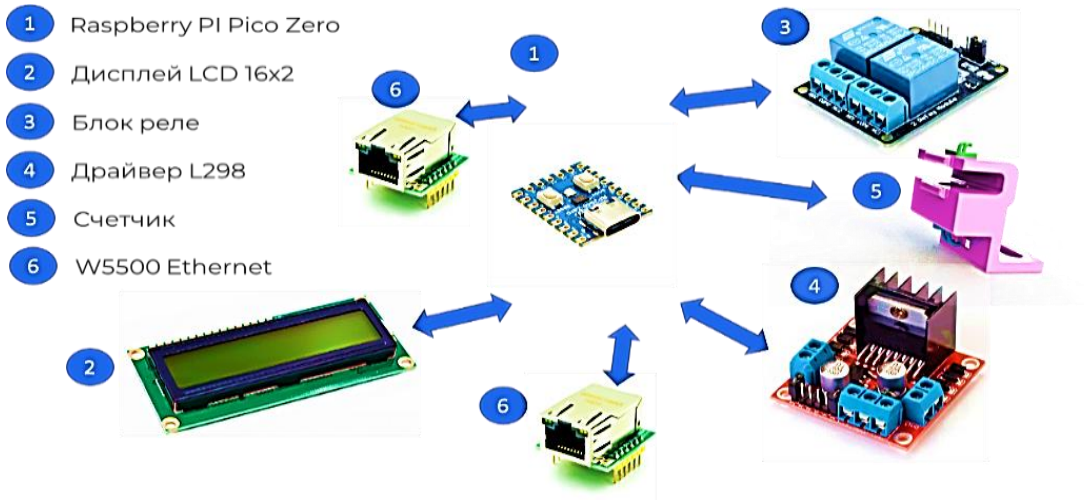


Рисунок 3.79 - Дополнительные периферийные модули

Изучены, проанализированы и выбраны инструменты для реализации быстродействия обработки информации внутри интеллектуального вискозиметра. На рисунке 3.80 представлен сетевой стек и протоколы передачи данных IoT платформы.

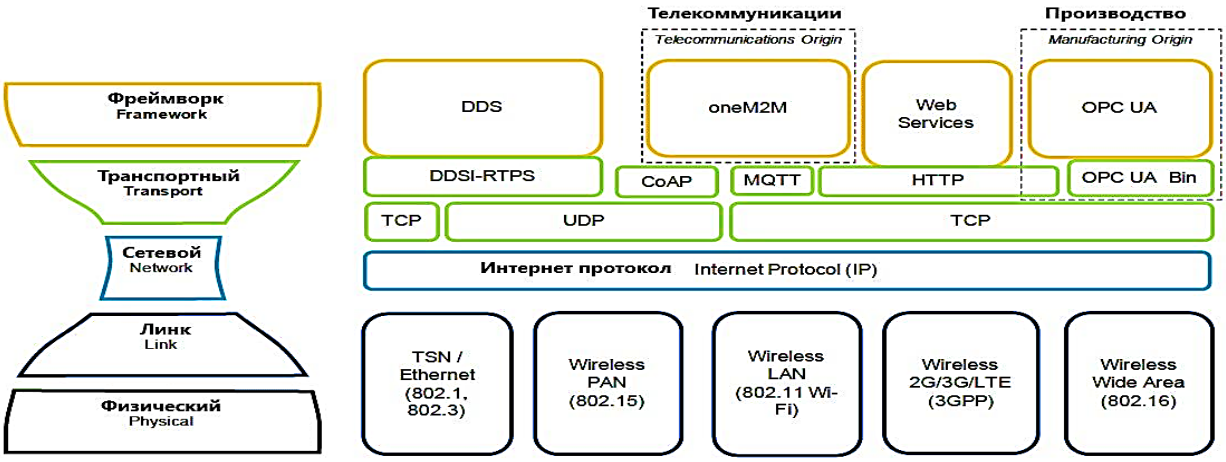


Рис. 3.80. Сетевой стек и протоколы передачи данных IIoT платформы

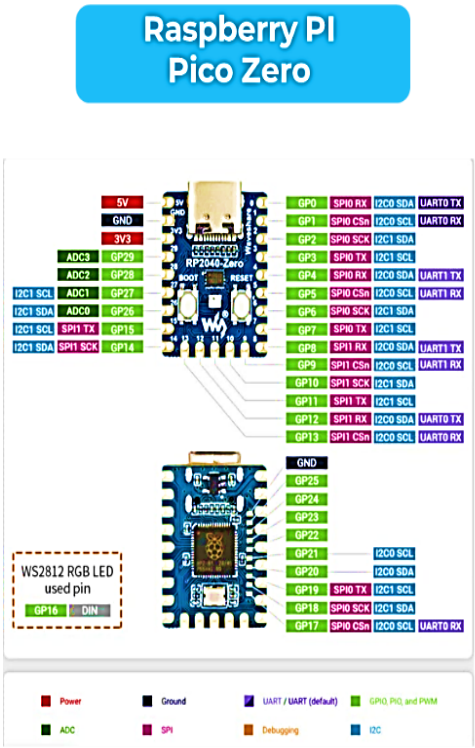
Для этого был проведен анализ существующих протоколов связи, который показал, что для реализации возможности интеграции вискозиметра с IoT и другими промышленными системами необходимо использовать стандартизированный протокол связи. Основными стандартами передачи данных в IIoT промышленных системах являются: MQTT; DDS; OPC UA; TSN.

В промышленных системах автоматизации кондитерских предприятий необходимо иметь возможность гибкой автоматической конфигурации каналов передачи данных. OPC UA в отличие от MQTT, DDS и TSN стандартов позволяет в автоматическом режиме без предварительной настройки организовать передачу данных между всеми компонентами системы.

При проведении экспериментальных исследований была выполнена сборка прототипа и разработано ПО данного вискозиметра. В таблице 3.7 представлены возможности подключений дополнительных периферийных модулей к микроконтроллеру Raspberry PI Pico Zero.

Таблица подключений к микроконтроллеру Raspberry PI Pico Zero

Таблица 3.7



Вискозиметр		RP2040	
Драйвер L298	PWM	GP4	GP4
	DO1	GP5	GP5
	DO2	GP6	GP6
Модуль реле	DO3	GP7	GP7
	DO4	GP8	GP8
Модуль кнопок	DI1	GP9	GP9
	DI2	GP25	GP25
	DI3	GP24	GP24
Счетчик импульсов	DI4	GP23	GP23
	DO5	GP22	GP22
Регулятор скорости двигателя	ADC	ADC2	GP28
LCD	I2C SDA	I2C1 SDA	GP14
	I2C SCL	I2C1 SCL	GP15
W5500 1	SPI CS	SPI0 CSn	GP1
	SPI SCK	SPI0 SCK	GP2
	SPI RX	SPI0 RX	GP0
	SPI TX	SPI0 TX	GP3
W5500 2	SPI CS	SPI1 CSn	GP13
	SPI SCK	SPI1 SCK	GP10
	SPI RX	SPI1 RX	GP12
	SPI TX	SPI1 TX	GP11

Прототип датчика вязкости был размещен в корпусе, разработанном с учетом компонентов. Корпус был распечатан на 3D принтере. На рисунке 3.81 представлен внешний вид собранного прототипа вискозиметра.



Рисунок 3.81 - Прототип интеллектуального ротационного IoT вискозиметра

В качестве основы программного обеспечения IoT вискозиметра была выбрана операционная система FreeRTOS. Данная операционная система позволяет минимизировать время обработки данных и их передачи. Основные задачи (Tasks), выполняемые в ОС FreeRTOS: клиент OPC UA, алгоритм работы вискозиметра, диагностика, синхронизация времени (клиент NTP). В промышленных системах IoT датчики имеют возможность сквозной передачи данных для реализации многоуровневой сетевой архитектуры.

ПАК интеллектуального ротационного цифрового вискозиметра на базе технологий промышленного интернета вещей

На рисунке 3.82 представлен ПАК программного взаимодействия нескольких IoT вискозиметров, объединенных последовательно друг с другом.

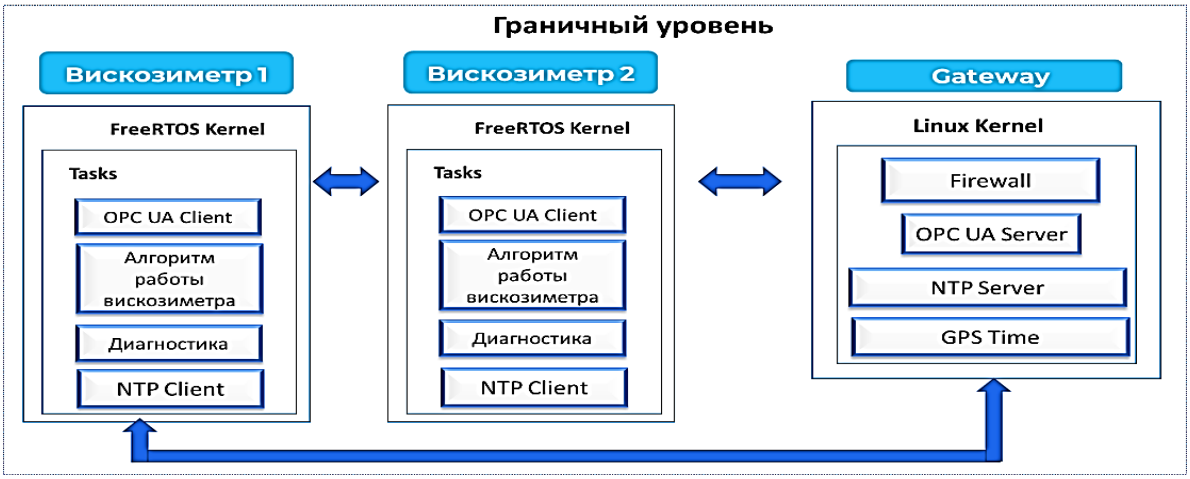


Рисунок 3.82 - Программная архитектура IIoT

Для надежности сетевых соединений реализована кольцевая топология сети. Каждый из вискозиметров синхронизирует время с NTP сервером, который

находится в «Gateway» устройстве. «Gateway» берет время посредством GPS модуля. Таким образом, отсутствует незащищенный канал связи с Internet, при этом сохраняется возможность синхронизации времени.

Обзор основных полученных результатов:

1. Проведены экспериментальные исследования совершенствования конструкции интеллектуальных цифровых ротационных вискозиметров, что позволило выбрать оптимальную форму измерительной ячейки датчика вязкости, ее размер, а также конфигурацию, размеры и местоположение ЧЭ, находящегося внутри измерительной ячейки. Определена техническая характеристика интеллектуального ротационного вискозиметра на базе современных технических средств.

2. Изучены возможности технологий интернета вещей и на этой базе разработана и представлена необходимая структура интеллектуального ротационного вискозиметра. Осуществлен выбор средств его реализации.

3. Получена и представлена общая структура основных элементов интеллектуального ротационного датчика вязкости на базе промышленного интернета вещей.

4. Для интеграции в сеть промышленного интернета вещей автоматического ротационного вискозиметра была разработана и представлена его обновленная структура, включающая модули дополнительной коммуникации.

5. Проведены экспериментальные исследования совершенствования архитектуры интеллектуальных цифровых ротационных вискозиметров на базе технологий интернета вещей, в результате которых предложены и показаны различные варианты модификаций основных элементов архитектуры прибора (микроконтроллер, готовая плата и др.).

6. Исследована, обоснована и продемонстрирована основная архитектура интеллектуального ротационного автоматического вискозиметра, дополненная в результате исследований периферийными модулями контроля и управления, для реализации функций IoT вискозиметра.

7. Показана возможность гибкой автоматической конфигурации каналов передачи данных.

8. Проведены исследования по изучению, анализу и выбору инструментов для реализации быстродействия обработки информации внутри интеллектуального датчика вязкости, которые показали, что для реализации возможности интеграции вискозиметра с IoT и другими промышленными системами необходимо использовать стандартизированный протокол связи.

9. Для проведения экспериментальных исследований был спроектирован и собран прототип интеллектуального ротационного цифрового вискозиметра на базе технологий промышленного интернета вещей. Апробация разработанного прототипа показала его работоспособность, простоту измерения на нем в режиме реального времени вязкости различных многокомпонентных кондитерских масс.

10. Разработано и представлено ПО работы интеллектуального ротационного вискозиметра в потоке.

11. Разработана и представлена программно-аппаратная архитектура IoT ротационного вискозиметра с возможностью интеграции передачи данных в другие IoT платформы. Представлено программное взаимодействие нескольких IoT вискозиметров.

12. Апробация разработанного прототипа интеллектуального ротационного цифрового вискозиметра показала его работоспособность, простоту измерения на нем вязкости в диапазоне от 3 до 200 Па·с. при температуре от 25 до 60 ^{0}C.

На разработку «Модуль расчета вязкости» / В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский, И.В. Кротов / получено свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ RU № 2025662616, 22.05.2025. Заявка № 2025660744 от 30.04.2025.

3.5. Выводы по 3 главе

Третья глава посвящена автоматизации контроля в потоке органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции.

- Рассмотрено современное состояние методов и систем контроля и управления качеством кондитерской продукции на промышленных предприятиях.

- Изучены и проанализированы существующие на кондитерских предприятиях системы АСУТП, АСУП.

- Исследованы и рассмотрены существующие в настоящее время средства контроля органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий, используемые в процессе производства в различных отраслях промышленности.

- Осуществлен выбор наиболее важных органолептических показателей качества кондитерской продукции, подлежащих автоматическому контролю.

- Рассмотрены и проанализированы возможности использования существующих интеллектуальных методов, технологий и инструментов для контроля качества кондитерской продукции в режиме реального времени.

- Разработаны средства автоматизации контроля в конвейерных линиях производства в режиме реального времени основных органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых кондитерских изделий:

1) Разработан модуль автоматического контроля в потоке коэффициента извлечения примесей в сырье (на примере семян подсолнечника). На основании проведенных исследований получено Свидетельство Роспатента о регистрации программы для ЭВМ RU № 2025619028, 14.04.2025 «Программа мониторинга извлечения примесей при сепарировании семян подсолнечника».

2) Разработан и апробирован прибор для автоматического контроля в режиме реального времени угла естественного откоса сыпучих масс в потоке. На основании проведенных исследований получено Свидетельство Роспатента о регистрации программы для ЭВМ RU 2025661081, 29.04.2025 «Модуль расчета угла естественного откоса».

3) Разработан метод автоматизации контроля в потоке блеска поверхности готовых кондитерских изделий. Создан датчик автоматического контроля блеска поверхности готовых кондитерских изделий. На способ и устройство

разработанного датчика блеска был получен патент на изобретение. Номер патента: RU 2770415 C1. Россия. Год публикации: 2022 «Способ и устройство для Фурье- анализа светопропускающих сред».

4) Разработан и апробирован метод автоматизации контроля в потоке формы кондитерских изделий (на примере пористого шоколада и карамели). Получено свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ №2025613322 «Конструктор внешнего вида и формы кондитерских изделий» от 11 февраля 2025 г.

5) Разработан и апробирован метод автоматизации контроля в потоке консистенции кондитерских масс. Разработаны и апробированы два варианта конструкций автоматического цифрового консистометра. Разработан прототип консистометра как интеллектуального датчика с использованием технологии Интернета вещей. Представлен пример схемы установки автоматического консистометра на темперирующей машине при производстве шоколада. На данные разработки получено 2 свидетельства Роспатента о государственной регистрации программ для ЭВМ №2025614754 «Модуль расчета консистенции с фиксированным таймингом» от 25 февраля 2025 г. и «Модуль машинного зрения для расчета консистенции» регистрации программы для ЭВМ № 2025615894, 11.03.2025.

6) Для дальнейшего развития имеющихся результатов исследован и апробирован на кондитерских изделиях разной структуры метод автоматизации контроля в потоке вкуса с использованием НСТ. Создан модуль автоматического контроля вкуса кондитерской продукции. На основании проведенных исследований получено Свидетельство Роспатента о регистрации программы для ЭВМ RU 2025682461, 22.08.2025 «Модуль расчета оценки вкуса кондитерских изделий на производстве».

7) Разработан и апробирован метод автоматизации контроля в потоке запаха кондитерских масс. Создан модуль автоматического контроля запаха кондитерской продукции с использованием НСТ. На основании проведенных

исследований получено 2 Свидетельства Роспатента о регистрации программ для ЭВМ RU № 2025683407, 03.08.2025 «Программный модуль расчета для оценки запаха кондитерских изделий на производстве» и RU № 2024613819, 15.02.2024 «МИКРОСПЕКТР МОДУЛЬ 2».

8) Представлен ПАК автоматического контроля цвета кондитерских масс с использованием интеллектуальных технологий (СКЗ и НСТ). На основании проведенных исследований получено Свидетельство Роспатента о регистрации программы для ЭВМ RU 2025666321, 25.06.2025 «Программа для оценки цвета кондитерских изделий».

9) Предложена конструкция цифрового интеллектуального ротационного вискозиметра. Описан его состав, функциональная схема работы блока управления. Представлена блок-схема алгоритма работы прибора и его принципиальная электрическая схема. Показаны возможные технические решения основных узлов цифровых ротационных вискозиметров, приведены схемы их конструктивного оформления. Описана модификация данного цифрового ротационного вискозиметра для автоматического контроля высоковязких кондитерских масс в потоке с использованием программируемых технических средств. Представлено оборудование и алгоритмы для реализации данного предложенного метода. Предложена программно - аппаратная архитектура IIoT ротационного вискозиметра на базе интернета вещей с возможностью интеграции передачи данных в другие IIoT платформы. На основании проведенных исследований получено Свидетельство Роспатента о регистрации программы для ЭВМ RU № 2025662616, 22.05.2025 «Модуль расчета вязкости».

ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ, МАТЕМАТИЧЕСКИХ, СИТУАЦИОННЫХ И ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА КОНДИТЕРСКОЙ ПРОДУКЦИИ

Решение задачи создания ИСАКиУ качеством кондитерской продукции в процессе производства возможно лишь при наличии соответствующих структурно- параметрических, математических, ситуационных и имитационных моделей, что позволит наглядно изучить влияние входных контролируемых и регулируемых параметров, возмущающих воздействий на исследуемые показатели качества на всех стадиях кондитерского производства, а также даст возможность прогнозировать ход этих ТП и определять необходимые при этом режимы работы используемого оборудования.

По методологии структурно-параметрического моделирования, изложенной в работах Ю.А. Ивашкина [126 - 129], разработаны структурно- параметрические и математические модели (СПММ) связей между параметрами состояния и исследуемыми показателями качества на всех стадиях процессов производства кондитерской продукции разной структуры.

4.1. Структурно – параметрические и математические модели процессов производства кондитерской продукции разной структуры

Успешное решение задачи построения интеллектуальных систем управления процессами производства кондитерской промышленности зависит в большой степени от адекватности полученных моделей реальным ТП, правильного выбора критерия качества и от рациональной модели организации информационного обеспечения, хранения и обработки производственных данных. Поэтому нами были проведены на кондитерских фабриках экспериментальные исследования ТП производства разнообразной кондитерской продукции и на основании полученных данных разработаны структурно- параметрические и математические модели всех стадий исследуемых производств.

4.1.1. Методология построения структурно – параметрических моделей (СПМ) основных стадий производства кондитерской продукции

В соответствии с методикой, изложенной в работах [126 - 129], сначала получаем таблицу корреляционных связей, которая отражает глубину статистической связи между параметрами на всех стадиях.

$$r_{ij} = \frac{\frac{1}{n-1}\sum_{k=1}^{n}(\bar{x}_i - x_{ki})(\bar{x}_j - x_{kj})}{\sqrt{S_{x_i}^2}\sqrt{S_j^2}} \quad , \qquad (4.1)$$

где: r_{ij} – коэффициент корреляции между i-ым и j-ым параметром;

$\bar{x}_i, \bar{x}_j$ – среднее значение i-ого и j-ого параметров;

$S_{x_i}^2, S_{x_j}^2$- дисперсия i-го и j-го параметров.

Проверка значимости коэффициентов r_{ij} производилась по критерию Стьюдента так, что при $t \geq t_{кр}$ коэффициент принимался значимым, при $t \leq t_{кр.}$ коэффициент r_{ij} равнялся ≤0.

Далее рассчитывали коэффициенты линейной множественной регрессии для приращений $\Delta x_i, \Delta x_j$:

$$\Delta x_i = \sum_{j=1}^{m_i} p_{ij} \Delta x_j \;\; ; \quad i = \overline{1, m_i} \qquad (4.2)$$

где $m_i -$ число факторов Δx_j, имеющих достаточно сильную корреляционную связь с i-м отклонением Δx_i. ; p_{ij} – коэффициенты связи j-го параметра ($j = \overline{1, m_i}$) с i-м.

Затем определяли коэффициенты регрессии P_{ij} и потом приводили их к безразмерным характеристикам связей относительно среднеквадратичных отклонений.

4.1.2. Структурно – параметрические и математические модели (СПММ) основных стадий ТП производства халвы

Разработка СПММ ТП подготовки сырья к производству халвы

Проведенные исследования позволили выявить основные параметры, влияющие на процесс сепарирования семян подсолнечника. Также были определены наиболее значимые выходные параметры, характеризующие качество полученного в процессе сепарирования сырья.

X_1 - влажность семян подсолнечника (f) (13,5-14,5%);
X_2 - температура семян подсолнечника (t) (25-40°С);
X_3 - гранулометрический состав семян подсолнечника (ГС) (20-90 мк);
X_4- относительная влажность воздуха (φ) (20-90%);
X_5 - расход воздуха при сепарировании (Р) (1200-1500 м3/т);
X_6 - частота колебаний сита при сепарировании (п) (2,5-5 об/мин);
Y_1 (X_7) - выходной параметр - коэффициент извлечения примеси в семенах подсолнечника, характеризующий качество основного сырья, %;
Y_2 (X_8) - выходной параметр - внешний вид семян подсолнечника (размер, цвет, состояние поверхности, целостность).

В результате анализа полученных данных на рисунке 4.1 представлена разработанная структурно-параметрическая модель подготовки сырья к производству подсолнечной халвы [29, 37].

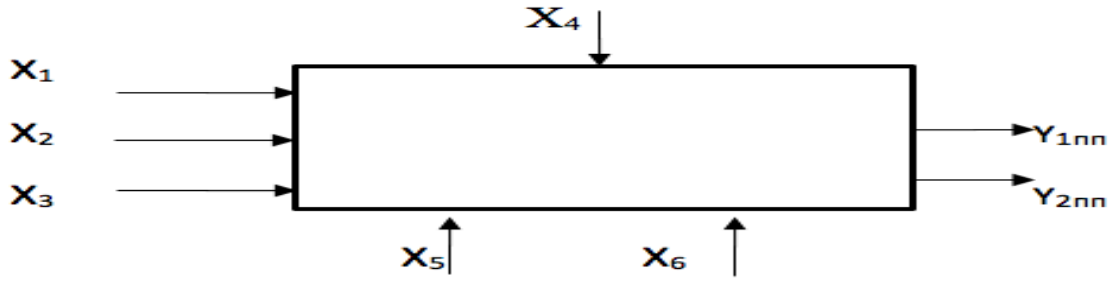


Рисунок 4.1 - Структурно - параметрическая модель подготовки сырья к производству халвы

На основании полученных результатов была выведена математическая модель процесса сепарирования семян подсолнечника:

$$\left.\begin{aligned} Y_{1ип} &= -0{,}72\,X_1 + 0{,}53\,X_2 - 0{,}81\,X_3 - 0{,}54\,X_4 + 0{,}78\,X_5 + 0{,}64\,X_6 \\ Y_{2сп.} &= -0{,}62\,X_1 + 0{,}54\,X_3 + 0{,}56\,X_5 + 0{,}48\,X_6 \end{aligned}\right\} \quad (4.1)$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность (δ=1,0384), коэффициент множественной корреляции (R=0,9641857), критерий Стьюдента (t_r=274,367>>2), критерий Фишера

(полученное расчетное значение критерия Фишера было больше теоретического критерия Фишера в ≈10 раз, т.е. $F_P >> F_T$).

Поэтому был сделан вывод об адекватности вышеприведённой математической модели, что позволило определить существенное влияние входных параметров на величину коэффициента извлечения примеси в семенах подсолнечника ɳ и внешний вид семян подсолнечника (Вн.в. - размер, цвет, состояние поверхности, целостность) при его подготовке к производству халвы.

Пример полученного при этом графика представлен на рисунке 4.2. Подробные расчеты и все полученные данные приведены в нашей статье [23].

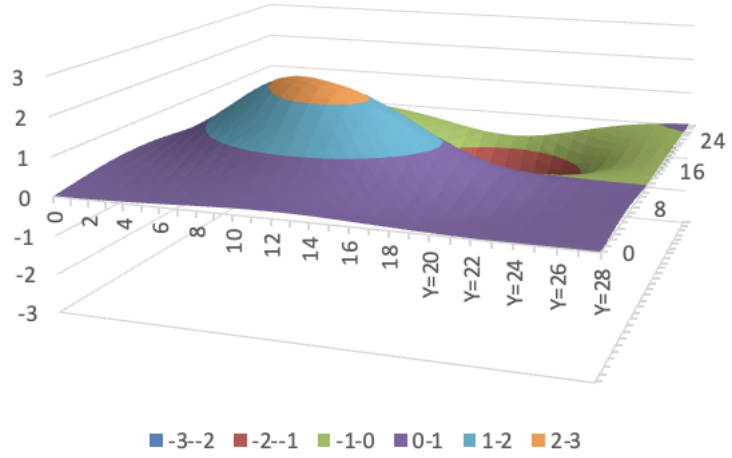


Рисунок 4.2 - Пример полученных графиков зависимостей выходного параметра от разных входных параметров

Аналогично по описанной выше методике составлены СПММ параметрических связей остальных выделенных участков производства халвы. Полученные результаты подробно описаны в наших работах [25, 28, 33, 40, 41].

Разработка СПММ ТП приготовления сахарного сиропа для производства халвы

Проведенные исследования позволили выявить основные параметры, влияющие на процесс приготовления сахарного сиропа. Также были определены наиболее значимые выходные параметры, характеризующие качество полученного в процессе приготовления сахарного сиропа.

Основные входные и выходные параметры процесса:

X_9 - угол естественного откоса (для определения гранулометрического состава сахара – песка), град. 40 – 50;
X_{10} - активная кислотность pH ,от 6,0 до 7,5;
X_{11} - концентрация сахара в сиропе, C 80 до 75%;
X_{12} - влажность сахара – песка,W 0,14 – 0,15 %;
X_{13}- частота перемешивания, п 28 – 35 об/мин;
X_{14} - время перемешивания, τ 20 – 25 мин.;
X_{15} - температура сахарного сиропа, 90—95°C;
X_{16} - давление греющего пара в колонке, P 0,34—0,4 Мпа;
$Y_{3сс}$ (X_{17}) - цвет сахарного сиропа, Ц;
$Y_{4сс}$ (X_{18}) - вкус готового сахарного сиропа (величина кристаллов сахара в сахарном сиропе), В;
$Y_{5сс}$ (X_{19}) - влажность,W от 78 до 80 %.

В результате анализа полученных данных на рисунке 4.3 представлена разработанная структурно-параметрическая модель (*СПМ)* ТП приготовления сахарного сиропа. Параметрическое моделирование процесса приготовления сахарного сиропа сводилось к построению матриц взаимосвязей (п.4.1.1.).

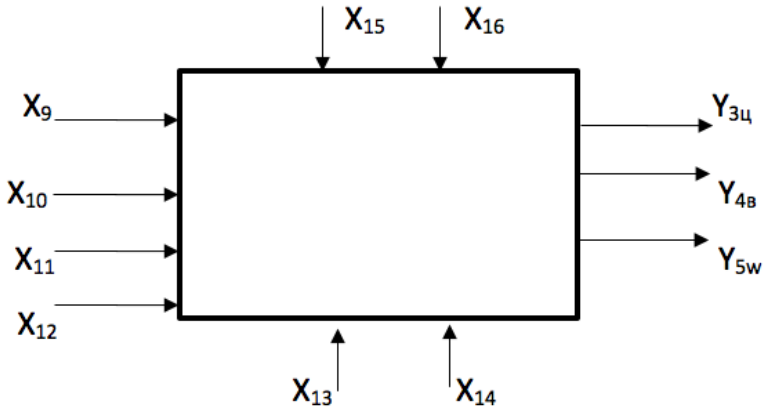


Рисунок 4.3 - СПМ приготовления сахарного сиропа

На основании проведенных расчетов получена математическая модель процесса приготовления сахарного сиропа:

$$\left.\begin{aligned} Y_{3ц} &= 0{,}2\ X_{13} + 0{,}36\ X_{14} \\ Y_{4в} &= 0{,}09\ X_{13} - 0{,}46\ X_{15} - 0{,}53\ X_{16} \\ Y_{5w} &= 0{,}61\ X_{12} + 0{,}75\ X_{15} \end{aligned}\right\} \qquad (4.2)$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по относительной погрешности (δ=1,0384), коэффициенту множественной корреляции (R = 0,9641857), критерию Стьюдента (t_r=274,367>>2), критерию Фишера ($F_P >> F_T$).

С учётом вышеизложенного был сделан вывод об адекватности вышеприведённой математической модели.

Полученные результаты зависимости между выходным параметром $Y_{4всс}$ и входными переменными представлены в виде графиков для их анализа (рис.4.4)

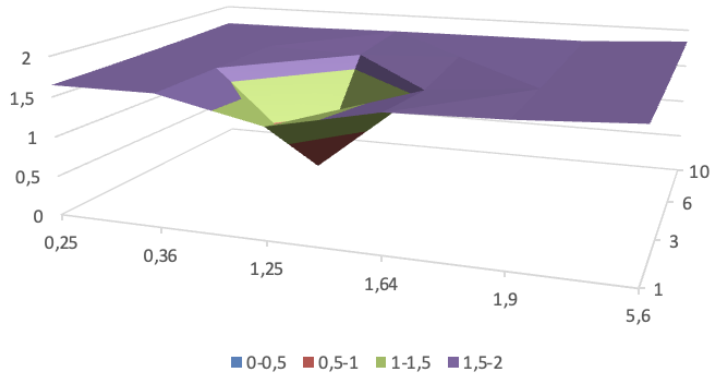


Рисунок 4.4 - Пример полученных графиков зависимости выходного параметра при меняющихся X_9, X_7 , X_{15} и постоянном либо X_7, либо X_{15}

Разработка СПММ ТП приготовления карамельного сиропа для производства халвы

Проведенные исследования позволили выявить основные параметры, влияющие на процесс приготовления карамельного сиропа. Также были определены наиболее значимые выходные параметры, характеризующие качество полученного в процессе приготовления карамельного сиропа.

Основные входные и выходные параметры процесса:

X_{20} - массовая доля сухих веществ, W от 78 до 80 %;

X_{21} - температура сахарного сиропа t от 90—95°С;

X_{22} - массовая доля с.в. (контролируется рефрактометром), С от 74 до 80%;

X_{23} - вязкость сахарного сиропа, μ от 13 до 20 Пас;

X_{24}- давление греющего пара в рубашке варочной станции, Р1 от 392 до 499 кПа;

X_{25} - давление внутри варочной станции, Р2 от 98 до 105 кПа;

X_{26} - время уваривания, τ 30—40 мин.;

Y_6 (X_{27}) - цвет карамельного сиропа, Ц;

Y_7 (X_{28}) - вкус готового карамельного сиропа (величина кристаллов сахара в карамельном сиропе), В от 40 до 80 мкм.

В результате анализа полученных данных на рисунке 4.5 представлена разработанная структурно-параметрическая модель (*СПМ)* ТП приготовления карамельного сиропа [28, 41]. Параметрическое моделирование процесса приготовления карамельного сиропа сводилось к построению матриц взаимосвязей (п. 4.1.1.). Разработанные по описанной выше методике СПМ корреляционных, регрессионных и безразмерных сопоставимых оценок параметрических связей основных участков приготовления карамельного сиропа подробно описаны в наших статьях [25, 28, 33, 38].

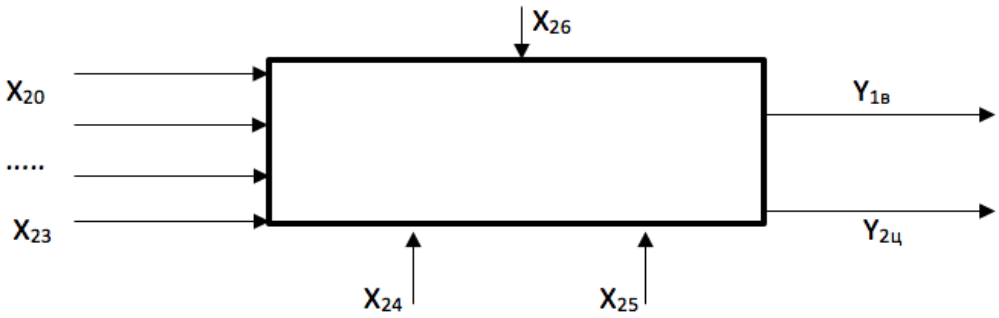


Рисунок 4.5 - СПМ процесса приготовления карамельного сиропа

На основании проведенных исследований этого процесса и расчетов полученных экспериментальных данных получены математические модели показателей качества карамельного сиропа:

$$\left.\begin{aligned} Y_{6в} &= 0{,}36\,X_{22}+0{,}57\,X_{23}+0{,}51\,X_{26} \\ Y_{7ц} &= 0{,}75\,X_{25}+0{,}39\,X_{26} \end{aligned}\right\} \qquad (4.3)$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность (δ=1,0384), коэффициент множественной корреляции (R=0,9641857), критерий Стьюдента (t_r=274,367>>2), критерий Фишера (значение критерия Фишера расчетное больше критерия Фишера теоретического в ≈10 раз, т.е. $F_P >> F_T$). С учётом вышеизложенного был сделан вывод об адекватности полученной математической модели. Таким образом, предложенный метод СПМ позволяет определить влияние входных параметров на величину кристаллов и цвет карамельного сиропа. Пример полученного при этом графика при f (X_{20}, X_{23}); X_{25} =const представлен на рисунке 4.6.

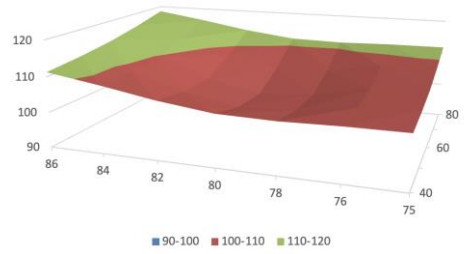


Рисунок 4.6 - График зависимости выходного параметра $Y_{6впс}$ при меняющихся X_{20}, X_{23} и постоянном либо X_{25}

Разработка СПММ ТП сбивания карамельных масс для производства халвы

Проведенные исследования позволили выявить основные параметры, влияющие на процесс сбивания карамельных масс. Также были определены наиболее значимые выходные параметры, характеризующие качество полученного в процессе сбивания карамельных масс.

Основные входные и выходные параметры процесса:

X_{30} - вязкость подаваемого на сбивание карамельного сиропа, η (от 9,0 Пас до 16 Пас);
X_{31} - массовая доля влаги подаваемого на сбивание карамельного сиропа, W (от 15% до 19%);;
X_{32} -плотность карамельного сиропа, ρ (от 730 до 770 кг/м^3);
X_{33} - давление пара перед началом сбивания, Р (от 98 кПа до 117 кПа);
X_{34} - время сбивания, τ (от 7 до 10 минут);
X_{35} - температура процесса сбивания, $t_{сб.}$ от 90°С до 100 °С;
X_{36} - температура воды в сбивальной машине, tх.в от 8°С до 12°С;
X_{37} - частота вращения сбивальных лопастей, п (от 0,35 1/с до 0,65 1/с);
Y_8 (X_{38}) - влажность готовой карамельной массы,W от 14 до 16 %;
Y_9 (X_{39}) - температура на выходе карамельного сиропа, t от 90—95°С;
Y_{10} (X_{40}) - вязкость полученного карамельного сиропа, м от 12 до 16 Пас;
Y_{11} (X_{41}) - цвет карамельного сиропа после сбивания Ц;
Y_{12} (X_{42}) - величина кристаллов сахара в карамельном сиропе, (от 30 до 70 мкм).

В результате анализа полученных данных на рисунке 4.7 представлена разработанная структурно-параметрическая модель (*СПМ)* ТП сбивания карамельных масс, предназначенных для производства халвы [43].

Параметрическое моделирование процесса сбивания карамельных масс сводилось к построению матриц взаимосвязей (п.4.1.1.). Разработанные по описанной выше методике СПМ корреляционных, регрессионных и безразмерных сопоставимых оценок параметрических связей основных участков сбивания карамельных масс подробно описаны в наших статьях [25, 28].

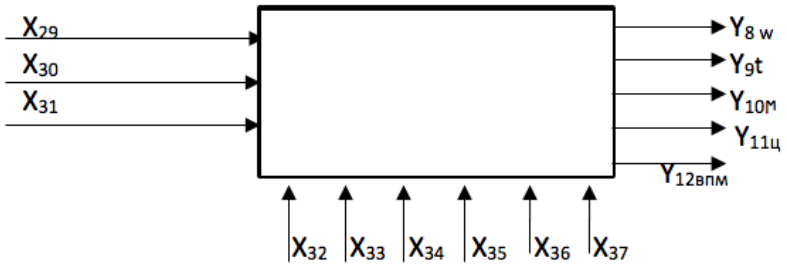


Рисунок 4.7 - Структурно- параметрическая модель процесса сбивания карамельных масс

Полученные математические модели показателей качества процесса сбивания карамельной массы имеют следующий вид:

$$\left.\begin{aligned} Y_{8w}\,(X_{38}) &= 0{,}33\,X_{29} + 0{,}83\,X_{33} \\ Y_{9t}\,(X_{39}) &= 0{,}29\,X_{33} + 0{,}78\,X_{35} + 0{,}52\,X_{36} \\ Y_{10м}\,(X_{40}) &= 0{,}43\,X_{30} + 0{,}51\,X_{34} + 0{,}69\,X_{36} \\ Y_{11ц}\,(X_{41}) &= 0{,}84\,X_{31} + 0{,}42\,X_{37} \\ Y_{12в}\,(X_{42}) &= 0{,}41\,X_{32} + 0{,}36\,X_{34} \end{aligned}\right\} \qquad (4.4)$$

Часть полученных результатов зависимости между выходными параметрами и переменными входными параметрами представлена в виде наглядных графиков для их анализа на рисунке 4.8.

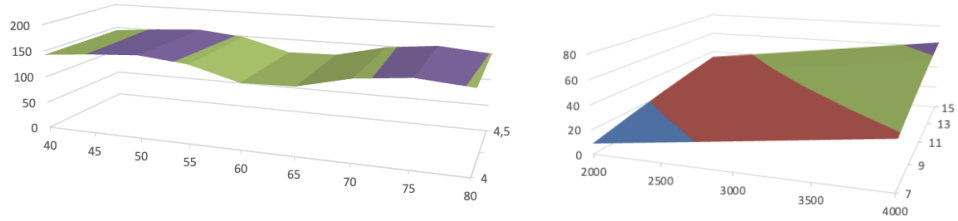


Рисунок 4.8 - Графики зависимости выходного параметра $Y_{12впм}$ при двух меняющихся входных параметрах X_i и одном постоянном параметре Xi_n.

Разработка СПММ ТП вымешивания массы халвы

Проведенные исследования позволили выявить основные параметры, влияющие на процесс вымешивания массы халвы. Также были определены наиболее значимые выходные параметры, характеризующие качество полученного в процессе вымешивания массы халвы.

Основные входные и выходные параметры процесса:

X_{43} - объем поступающей карамельной массы,V (7,5-8 т/час);
X_{44} - температура поступающей карамельной массы, t (75-80 оС);
X_{45} - количество оборотов мешалки в темперирующей машине, n (50-60 об. в мину-ту);
X_{46} - температура воды в рубашке темперирующей машины, t (40-50 оС);
X_{47} - влажность поступающей взбитой массы, W (60-70 %);
Y_9 (X_{48}) - температура полученной на выходе массы халвы, t от 90—95°С;
Y_{10} (X_{49}) - доля с.в. в массе халвы после вымешивания, W (16–18 %);
Y_{11} (X_{50}) - цвет массы халвы после вымешивания, Ц.

В результате анализа полученных данных на рисунке 4.9 представлена разработанная структурно-параметрическая модель (*СПМ)* ТП вымешивания массы халвы [25].

Параметрическое моделирование процесса вымешивания массы халвы сводилось к построению матриц взаимосвязей (п. 4.1.1.). Разработанные по описанной выше методике СПМ корреляционных, регрессионных и безразмерных сопоставимых оценок параметрических связей основных участков приготовления карамельного сиропа подробно описаны в наших статьях [25, 28].



Рисунок 4.9 - Параметрическая модель процесса вымешивания массы халвы

На основании проведенных расчетов получены математические модели показателей качества процесса приготовления массы халвы:

$$\left.\begin{aligned} Y_{13t}\,(X_{48}) &= 0{,}61\,X_{44} + 0{,}12\,X_{46} \\ Y_{14w}\,(X_{49}) &= 0{,}69\,X_{43} + 0{,}42\,X_{47} \\ Y_{15ц}\,(X_{50}) &= 0{,}58\,X_{43} + 0{,}23\,X_{47} \\ Y_{16в}\,(X_{51}) &= 0{,}19\,X_{45} + 0{,}31\,X_{46} \end{aligned}\right\} \qquad (4.5)$$

Часть полученных при этом наглядных графиков представлены на рисунке 4.10.

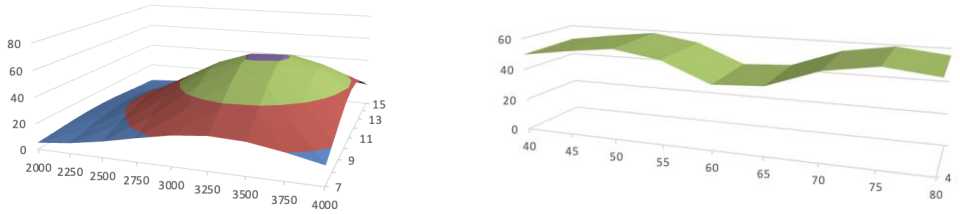


Рисунок 4.10 - Графики зависимости $Y_{16вкм}\,(X_{51})$ при двух меняющихся входных параметрах X_i и постоянном одном входном параметре

Разработка СПММ ТП формования корпусов конфет халвы

Проведенные исследования позволили выявить основные параметры, влияющие на процесс формования корпусов конфет халвы. Также были определены наиболее значимые выходные параметры, характеризующие качество полученного в процессе формования корпусов конфет халвы.

Основные входные и выходные параметры процесса:

X_{52} - скорость выхода массы из матричного отверстия, Vm (от 9 до 15 мм/с);

X_{53} - реологические свойства халвы, μ (от $4x10^{-2}$ Пас до $32x10^{-2}$Пас);

X_{54} - температура халвы, поступающей на формование, t (от 32 ^{0}C до 42 ^{0}C);

X_{55} - скорость транспортерной ленты при проведении эксперимента была постоянной, Vтл - 22,7 мм/с, (может меняться от 20 до 24,5 мм/с);

Y_{17} (X_{56}) - высота жгута халвы на выходе, h (от 0,8 до 1,2 мм);

Y_{18} (X_{57}) - вкус халвы, S от 30 до 70 мкм;

Y_{19} (X_{58}) - цвет полученной халвы, Ц.

В результате анализа полученных данных на рисунке 4.11 представлена разработанная структурно-параметрическая модель исследуемой стадии.

Разработанные по описанной выше методике СПМ корреляционных, регрессионных и безразмерных сопоставимых оценок параметрических связей основных участков приготовления карамельного сиропа подробно описаны в наших статьях [25, 31, 34, 37].



Рисунок 4.11 - СП модель процесса формования халвы

На основании проведенных расчетов получены математические модели процесса формования халвы:

$$\left.\begin{array}{l} Y_{17h}\,(X_{56}) = 0{,}29\ X_{55} \\ Y_{18в}\,(X_{57}) = 0{,}45\ X_{54} \\ Y_{19ц}\,(X_{58}) = 0{,}28\ X_{53} \end{array}\right\} \qquad (4.6)$$

Проведенные исследования позволили определить влияние входных параметров на вкус и цвет полученной массы халвы после формования. Часть полученных при этом наглядных графиков для их анализа представлены на рисунке 4.12.

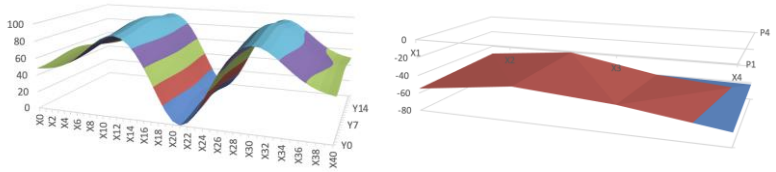


Рисунок 4.12 - Графики зависимости выходного параметра $Y_{18\,вфм}$ при одном постоянном входном параметре Xi_n и меняющемся входном параметре X_i.

Аналогично по описанной выше методике составлены СПММ параметрических связей остальных выделенных участков производства халвы. Полученные результаты подробно описаны в нашей работе [25].

4.1.3. Структурно – параметрические и математические модели (СПММ) ТП производства шоколадных масс

Структурная схема основных операций производства шоколадных масс представлена в 1 главе на рисунке 1.3. Подробно работа данной схемы описана и проанализирована в наших статьях [35, 36]. В соответствии с данной схемой исходным сырьем для получения шоколада служат какао бобы. Поэтому

первым процессом, который подлежит анализу является процесс хранения какао бобов.

Разработка СПММ ТП хранения какао бобов

В России с 1 июля 2017 года вступили в действие четыре межгосударственных стандарта по какао-бобам, регламентирующие требования к качеству (ГОСТ 326152014), отбору проб (ГОСТ ISO 22922014) и методам контроля качества какао-бобов (ГОСТ ISO 1114-2014, ГОСТ 32616-2014). Какао бобы хранятся на предприятиях в мешках или бестарно (в силосах) в хорошо вентилируемых складах без доступа солнечного света.

Проведенные исследования и их анализ дали возможность определить *входные параметры качества какао бобов:*

X_1 - влажность какао бобов ($W_{к.б.}$) (7,5-14,5%);
X_2 - массовая доля жира ($Ж_{к.б.}$) (45-50 %);
X_3 - средний размер партии (l ср.) (2-2,6 см), какао-бобы довольно крупного размера содержат на 100 грамм – 65-75 шт.;
X_4- pH (4,4- 5,7);
X_5 - титруемая кислотность (ТК) (12,3-15,8^0);
X_6 - индекс качества (ИК) (84 – 100%). В ИК входит: количество какао бобов на 100 г, % плесневых, ломаных какао бобов, % боя и посторонних примесей, % какаовеллы. Если ИК = 94 ÷ 100% – это бобы высшего качества, 90 ÷ 93 – это хорошее качество, 84÷ 90 – среднее качество, менее 84 –плохое качество.

Были выявлены также *режимные параметры, оказывающие влияющие на процесс хранения какао бобов* : X_7 - продолжительность хранения (τ_1); X_8 - температура (t_1), от 5 до 25 °С и X_9 - относительная влажность воздуха ($\varphi_в$), 20 - 75%.
X_{10} - количество хранимого продукта (Qм).
и выходные параметры качества какао бобов:
$Y_{1кб}$ (X_{11}) - выходной параметр - влажность какао бобов ($W_{к.б.}$) (7,5-14,5%);
$Y_{2кб}$ (X_{12}) - выходной параметр - массовая доля жира (Жк.б.) (45-50 %);
$Y_{3кб}$ (X_{13}) - выходной параметр - индекс качества (ИК) (84 – 100%).

В результате анализа полученных данных на рисунке 4.13 представлена разработанная СПМ ТП хранения какао бобов. Параметрическое моделирование процесса хранения какао бобов сводилось к построению матриц взаимосвязей (п.4.1.1.).



Рисунок 4.13 - Структурно-параметрическая модель ТП хранения какао бобов

Разработанные по описанной выше методике СПМ корреляционных, регрессионных и безразмерных сопоставимых оценок параметрических связей стадии хранения какао бобов подробно описаны в наших статьях [25, 35, 36].

Получена следующая маиематическая модель ТП хранения какао бобов:

$$\left.\begin{aligned} Y_{1кб}(X_{11}) &= 0{,}38X_7 + 0{,}54X_8 + 0{,}29X_9 + 0{,}42X_{10} \\ Y_{2кб}(X_{12}) &= 0{,}17X_7 + 0{,}28X_8 + 0{,}14X_9 + 0{,}22X_{10} \\ Y_{5кб}(X_{15}) &= 0{,}28X_7 + 0{,}41X_8 + 0{,}19X_9 + 0{,}24X_{10} \end{aligned}\right\} \quad (4.7)$$

Разработка СПММ ТП очистки и сортировки какао бобов

Проведенные исследования позволили выявить основные параметры, влияющие на процесс очистки и сортировки какао бобов. Были определены наиболее значимые входные параметры, характеризующие качество полученного сырья (какао бобов). Также были определены наиболее значимые выходные параметры:

X_{14} - влажность какао бобов ($W_{к.б.}$) (7,5-14,5%);
X_{15} - температура какао бобов (t) (25-40 °С);
X_{16} - гранулометрический состав какао бобов (ГС) (2-2,6 см);
X_{17}- относительная влажность воздуха (φ) (20-90%);
X_{18} - расход воздуха при сепарировании какао бобов (Р) (1200-1500 м3/т);
X_{19} - частота колебаний сита при сепарировании какао бобов (п) (2,5-5 об/мин);
$Y_{4кб}(X_{20})$ - выходной параметр - коэффициент извлечения примеси в какао бобах, характеризующий качество основного сырья, ηᵢ (0, 84 – 1,0%);
$Y_{5кб}(X_{21})$ - выходной параметр - внешний вид какао бобов (размер, цвет, состояние поверхности, целостность), (Вн.В).

Полученные данные позволили разработать структурно-параметрическую модель (СПМ) ТП очистки и сортировки какао бобов (рисунок 4.14).



Рисунок 4.14 - СПМ ТП очистки и сортировки какао бобов

Оценка параметрических связей основных участков процессов очистки и сортировки какао бобов подробно описана в наших статьях [25, 35, 36].

На основании полученных результатов была выведена математическая модель процесса сепарирования семян подсолнечника:

$$\left.\begin{aligned} Y_{4кб} &= -0{,}69X_{14} + 0{,}56X_{15} - 0{,}82X_{16} - 0{,}57X_{17} + 0{,}74X_{18} + 0{,}63X_{19} \\ Y_{5кб} &= -0{,}62X_{14} + 0{,}54X_{15} + 0{,}56X_{17} + 0{,}48X_{19} \end{aligned}\right\} \quad (4.8)$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность (δ=1,0384), коэффициент множественной корреляции (R=0,9641857), критерий Стьюдента (tr=274,367>>2) и критерий Фишера (полученное расчетное значение критерия Фишера было больше теоретического). Поэтому был сделан вывод об адекватности вышеприведённой математической модели, что позволило определить существенное влияние входных и режимных параметров на процесс очистки и сортировки какао бобов.

Разработка СПММ ТП обжарки какао бобов

Обжарка является наиболее ответственной технологической операцией, от которой в значительной степени зависит качество и безопасность получаемого продукта [121]. Протекание процесса и качество получаемых обжаренных какао бобов зависят от показателей качества сырья и качества очистки и сортировки.

На рисунке 4.15 представлена СПМ процесса обжарки какао бобов.



Рисунок 4.15 - СПМ процесса обжарки какао бобов

Входные параметры:
X_{22} - коэффициент извлечения примеси в какао бобах, ηᵢ (0, 84 – 1,0%);
X_{23} - внешний вид какао бобов (размер, цвет, состояние поверхности, целостность), (Вн.В).
X_{24}– угол естественного откоса, град. 40 - 50
X_{25}– влажность какао бобов 0,14 – 0,15 %
Режимные параметры:
X_{26} – время обжарки, τ , мин.
X_{27} – температура обжарки какао бобов, Т, °С
X_{28} - относительная влажность воздуха ($\varphi_в$), 20 - 75%.
Выходные параметры:
$Y_{6кб}$ (X_{29}) – температура какао бобов на выходе из аппарата обжарки, Т, °С;
$Y_{7кб}$ (X_{30}) - внешний вид какао бобов (размер, цвет, состояние поверхности, целостность), (Вн.В).

Параметрическое моделирование процесса обжарки какао бобов сводилось к построению матриц взаимосвязей (п.4.1.1.). Разработанные по описанной выше методике СПМ корреляционных, регрессионных и безразмерных сопоставимых оценок параметрических связей основных участков процессов очистки и сортировки какао бобов подробно описаны в наших работах [25, 35, 36].

На основании полученных результатов была спроектирована математическая модель процесса обжарки какао бобов (уравнения 4.19):

$$\left.\begin{aligned} Y_{6кб} &= 0{,}19X_{22} - 0{,}34X_{24} - 0{,}41X_{25} + 0{,}85X_{26} + 0{,}87X_{27} \\ Y_{7кб} &= 0{,}58\,X_{22} + 0{,}74\,X_{23} + 0{,}69\,X_{26} + 0{,}84\,X_{26} \end{aligned}\right\} \qquad (4.9)$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность (δ=1,1184), коэффициент множественной корреляции (R=0,9581), критерий Стьюдента (tr=274,367>>2) и критерий Фишера (полученное расчетное значение критерия Фишера было больше теоретического критерия Фишера). Поэтому был сделан вывод об адекватности вышеприведённых уравнений, что позволило определить существенное влияние входных и режимных параметров на температуру какао бобов на выходе из аппарата обжарки и внешний вид какао бобов после обжарки.

Разработка СП и ММ ТП охлаждения какао бобов

Охлаждение необходимо, чтобы сохранить в какао бобах какао масло в твердом состоянии и предотвратить замасливание и забивание сит продуктами какао бобов на последующих операциях [25, 35, 36].

Анализ полученных данных позволил установить:

Входные параметры:
X_{29} – температура какао бобов на выходе, t, не выше 125°С;
X_{30} - внешний вид какао бобов, (Вн.В).
Режимные параметры:
X_{31} – время охлаждения какао бобов (зависит от сорта шоколада), τ , мин.
X_{32} – температура охлаждения какао бобов, t, 25…30°С;
$Y_{8кб}$ (X_{33}) – температура какао бобов, t, °С;
$Y_{9кб}$ (X_{34}) - внешний вид какао бобов на выходе из аппарата охлаждения, (Вн.В).

Структурно-параметрическую модель (СПМ) процесса охлаждения какао бобов представлена на рисунке 4.16.



Рисунок 4.16 - СПМ процесса охлаждения какао бобов

Параметрическое моделирование процесса охлаждения какао бобов сводилось к построению матриц взаимосвязей (п. 4.1.1). Разработанные по описанной выше методике оценки параметрических связей основных участков подробно описаны в нашей статье [25].

На основании полученных результатов была спроектирована математическая модель процесса охлаждения какао бобов (уравнения 4.20):

$$\left.\begin{aligned} Y_{8кб} &= 0{,}71X_{29} + 0{,}78X_{31} + 0{,}88X_{32} \\ Y_{9кб} &= 0{,}64\,X_{29} + 0{,}92\,X_{30} + 0{,}49\,X_{31} + 0{,}51\,X_{32} \end{aligned}\right\} \qquad (4.10)$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность (δ=1,064), коэффициент множественной корре-

ляции (R=0,9242), критерий Стьюдента (tr=274,367>>2) и критерий Фишера (полученное расчетное значение критерия Фишера было больше теоретического). Поэтому был сделан вывод об адекватности вышеприведённых уравнений, что позволило определить влияние входных и режимных параметров на процесс охлаждения какао бобов.

Разработка СПиММ ТП получения какао крупки и какаовеллы

Охлажденные какао бобы загружаются в дробильно-очистительно-сортировочную машину, в которой они дробятся на кусочки размером от 0,75 до 8 мм. Дробленая смесь состоит из кусочков ядра - какао-крупки и какаовеллы. Эту смесь делят на ситах на несколько фракций для более полного отделения крупки от какаовеллы, имеющих разную парусность, определяемую скоростью воздуха, при которой частицы витают. Поэтому в аспирационных каналах дробильно-очистительной машины при помощи воздушного потока какаовелла отвеивается от крупки. Выход какао-крупки составляет не менее 87%.

Ход процесса получения какао крупки определяется показателями качества обжаренных какао бобов и их структурно-механическими свойствами:

X_{35}– угол естественного откоса (для определения гранулометрического состава какао бобов), град. 40 - 50

X_{36} – влажность какао бобов 0,14 – 0,15 %

X_{37} - температура какао бобов (t) (25-40 °С);

Режимные параметры:

X_{38} - расход воздуха для отделения какаовеллы (Р) (1200-1500 м3/т);

X_{39}- частота колебаний сита при сепарировании дробленных какао бобов (п) (2,5-5,0 об/мин);

X_{40} - амплитуда колебаний сита при сепарировании дробленных какао бобов (А) (0,4 – 3,2 мм)

Выходные параметры:

$Y_{10кк}$ (X_{41}) - выход какао-крупки (Q) не менее 87% обжаренных какао-бобов/

На основании полученных данных была спроектирована СПМ процесса получения какао крупки, представленная на рисунке 4.17.



Рисунок 4.17 - СПМ процесса дробления какао бобов

Параметрическое моделирование процесса получения какао крупки проводилось по описанной в п.4.1.1. методике и подробно описано в нашей работе [25]. На основании полученных результатов была спроектирована математическая модель процесса получения какао крупки:

$$\left.\begin{aligned} Y_{10кк} &= 0{,}39X_{35} - 0{,}28X_{36} + 0{,}43X_{37} + 0{,}86X_{38} + 0{,}74X_{39} + 0{,}74X_{40} \\ Y_{11кк} &= 0{,}53X_{35} + 0{,}42X_{36} + 0{,}21X_{37} + 0{,}64X_{38} + 0{,}59X_{39} + 0{,}48X_{40} \end{aligned}\right\} \quad (4.11)$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность (δ=1,0384), коэффициент множественной корреляции (R=0,95218), критерий Стьюдента (tr=274,367>>2) и критерий Фишера. Поэтому был сделан вывод об адекватности вышеприведённых уравнений, что позволило определить существенное влияние входных и режимных параметров на процесс дробления какао бобов.

Разработка СПММ ТП размола какао крупки с получением какао тертого

Полученная какао крупка затем подвергается размолу, для чего эта масса последовательно измельчается на трех мельницах: ударно-штифтовой, дисковой и шариковой (1 глава, 1.1.1).

Эффективность процесса размола определяется вязкостью ($\mu_{кт1}$), дисперсностью какао тертого (D_1) и зависит от показателей качества какао крупки (ГС,W_2, $Ж_3$), а также от режимных параметров процесса.

Входные параметры:
X_{43} - угол естественного откоса, ГС, град. (35 – 50);
X_{44} - массовая доля жира, Жк.к., (45-55 %);
X_{45} – влажность какао крупки, Wк.к., (14,5 - 18%);
X_{46} – температура какао крупки, t, °С (диапазон разный в зависимости от сорта шоколада)

Режимные параметры:

X_{47} – время размола, τ, мин.

X_{48} – число оборотов вала мельницы, n, об/мин;

X_{49} – зазор между дисками второй мельницы, δ_2;

Выходные параметры:

$Y_{12кт}$ (X_{59}) – вязкость какао тертого ($\mu_{кт}$),;

$Y_{13кт}$ (X_{51}) – дисперсность какао тертого $D_{кт}$.

На рисунке 4.18 дана СПМ процесса размола какао крупки.

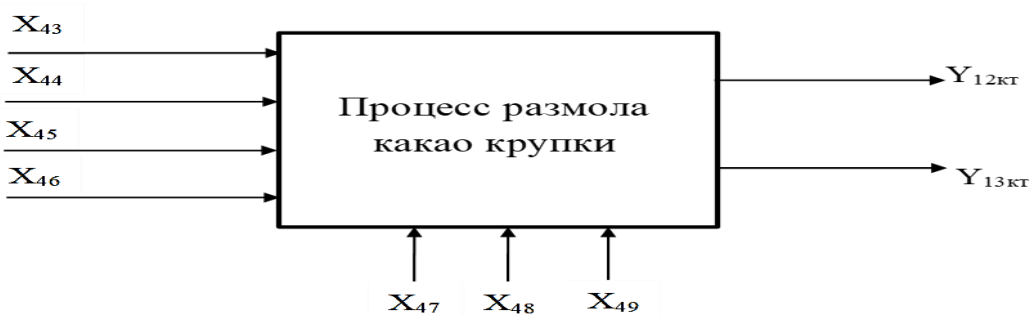


Рисунок 4.18 - СПМ процесса размола какао крупки

Параметрическое моделирование процесса размола какао крупки проводилось по описанной в п.4.1.1. методике и подробно описано в нашей работе [25]. На основании полученных результатов была получена математическая модель процесса размола какао крупки:

$$\left.\begin{aligned} Y_{12кт} &= 0{,}26X_{43} + 0{,}37X_{44} + 0{,}44X_{45} + 0{,}45X_{46} + 0{,}68X_{47} + 0{,}69X_{48} + 0{,}84\,X_{49} \\ Y_{13кт} &= 0{,}45X_{43} + 0{,}53X_{44} + 0{,}48X_{45} + 0{,}57X_{46} + 0{,}72X_{47} + 0{,}61X_{48} + 0{,}78\,X_{49} \end{aligned}\right\} \quad (4.12)$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность (δ=1,0464), коэффициент множественной корреляции (R=0,9461), критерий Стьюдента (tr=273,57>>2) и критерий Фишера. Поэтому был сделан вывод об адекватности вышеприведённых уравнений, что позволило определить существенное влияние входных и режимных параметров на процесс размола какао крупки.

Разработка СПиММ ТП прессования

Анализ полученных данных позволил определить параметры процесса:

Входные параметры:

X_{59} - вязкость какао тертого, $\mu_{кт}$, Па·с;

X_{51} - дисперсность какао тертого $D_{кт}$

X_{52} - массовая доля жира, $Ж_{кб}$, %;
X_{53} – входная температура какао тертого, t, °С;
Режимные параметры:
X_{54} – время прессования, τ, мин. (15 – 20 мин.);
X_{55} – температура какао тертого при прессовании, t, °С (90… 95°С);
X_{56} – давление при прессовании, Р, Мпа (35 – 45 МПа);
Выходные параметры:
$Y_{14км}$ (X_{57}) – количество отжатого какао масла Q, кг.

На рисунке 4.19 представлена СПМ процесса прессования какао тертого.



Рис. 4.19 - Структурно-параметрическую модель процесса прессования

Параметрическое моделирование процесса прессования какао тертого проводилось по описанной в п.4.1.1. методике и подробно описано в нашей работе [35]. На основании полученных результатов была получена математическая модель процесса прессования какао тертого:

$$Y_{14км} = 0{,}69X_{50} + 0{,}63X_{51} + 0{,}85X_{52} + 0{,}57X_{53} + 0{,}54X_{54} + 0{,}72X_{55} + 0{,}54X_{56}. \quad (4.13)$$

Адекватность полученного уравнения была проверена по таким величинам, как относительная погрешность (δ=1,0442), коэффициент множественной корреляции (R=0,9372), критерий Стьюдента (tr=263,367>>2) и критерий Фишера. Поэтому был сделан вывод об адекватности данного уравнения, что позволило определить существенное влияние входных и режимных параметров на процесс прессования какао тертого.

Разработка СПиММ ТП смешивания какао тертого с какао маслом и сахарной пудрой

Приготовление шоколадной массы начинается с формирования рецептурной смеси в соответствии с утвержденной рецептурой.

Из темперирующих сборников жидкие компоненты (какао тертое, какао-масло и др.) насосами подаются в дозаторы рецептурно-смесительной установки. Также в данную смесительную установку через дозаторы загружают сахарная пудра, сухое молоко и другие сыпучие компоненты. В результате смешивания компонентов получают однородную массу, зависящую от показателей качества компонентов, от температуры, а также от режимных параметров процесса смешивания. Были установлены:

Входные параметры:

X_{58} - вязкость какао тертого, $\mu_{кт}$, Па·с;

X_{59} - вязкость какао масла, $\mu_{км}$, Па·с;

X_{60} - дисперсность сахарной пудры, $D_{сп}$, мкм (не более 80 мкм);

X_{61} - влажность сахарной пудры, $W_{сп}$, %;

X_{62} - температура какао тертого, t, °С;

X_{63} - температура какао масла, t, °С;

Режимные параметры:

X_{64} – время смешивания, τ, мин.;

X_{65} – температура в процессе смешивания, t, °С (40…45°С);

X_{66} – число оборотов лопастей мешалки, п, об/мин;

Выходные параметры:

$Y_{15см.}(X_{67})$ – вязкость полученной смеси, $\mu_{см}$, Па с

$Y_{16см.}(X_{68})$ – массовая доля жира, Ж, % (24 – 30%);

$Y_{17см.}(X_{69})$ – дисперсность полученной смеси, $D_{см}$, мкм (не более 35 – 20 мкм).

На рисунке 4.20 представлена СПМ процесса смешивания какао тертого с какао маслом и сахарной пудрой.



Рисунок 4.20 - СПМ процесса смешивания

Параметрическое моделирование процесса смешивания сводилось к построению матриц взаимосвязей (п.4.1.1.). На основании полученных результатов была спроектирована математическая модель процесса смешивания:

$$\left.\begin{aligned} Y_{15см}&=0,89X_{58}+0,91X_{59}+0,56X_{60}+0,48X_{61}+0,62X_{62}+0,61X_{63}+0,64X_{64}\\ &-0,67X_{65}+0,73X_{66}\\ Y_{16см}&=0,72X_{58}+0,75X_{59}+0,46X_{61}-0,62X_{62}+0,61X_{63}-0,72X_{64}\\ &-0,67X_{65}-0,63X_{66}\\ Y_{17см}&=0,67X_{58}+0,59X_{59}+0,95X_{60}+0,43X_{61}+0,36X_{62}+0,31X_{63}+0,26X_{64}\\ &+0,27X_{65}+0,73X_{66} \end{aligned}\right\} \quad (4.14)$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность (δ=1,0742), коэффициент множественной корреляции (R=0,92385), критерий Стьюдента (tr=253,367>>2) и критерий Фишера. Поэтому был сделан вывод об адекватности вышеприведённых уравнений, что позволило определить существенное влияние входных и режимных параметров на ТП смешивания.

Разработка СПиММ ТП разводки, гомогенизации и конширования шоколадной массы

Разводка, гомогенизация и конширование являются одними из важнейших этапов процесса приготовления шоколадных масс (1 глава, п.1.2.1). Процессы разведения шоколадной массы какао-маслом с добавлением поверхностно-активных веществ (ПАВ), гомогенизация и конширование шоколадных масс осуществляются одновременно. Для их осуществления провальцованная шоколадная масса ссыпается на непрерывно движущийся конвейер со стальной лентой, который направляет продукт на разведение, гомогенизацию и конширование в ротационную коншмашину. Продолжительность вымешивания устанавливают в зависимости от типа применяемого оборудования и вида обрабатываемой массы. Например, для обычного молочного шоколада масса обрабатывается в течение 8 ч при температуре 45…55°С, а для получения десертного требуется 24 ч перемешивания при температуре 55…75°С.

Для поддержания необходимой вязкости приготавливаемой шоколадной массы периодически добавляется какао-масло при помощи дозатора.

Обработанная масса становится однородной и приобретает пластичную консистенцию с минимальной постоянной вязкостью. Под влиянием продолжительного механического и теплового воздействия в шоколадной массе происходит ряд физико-химических и структурно-механических изменений, которые обусловливают улучшение качества шоколада, повышая его вкусовые и ароматические свойства.

Анализ полученных данных позволил установить:

Входные параметры:

X_{67} – вязкость провальцованной шоколадной массы, $\mu_{км}$, Па·с;

X_{68} - массовая доля жира провальцованной шоколадной массы, Ж, %;

X_{69} – дисперсность провальцованной шоколадной массы, $D_{пшм}$, мкм;

X_{70} - влажность провальцованной шоколадной массы, $W_{пшм}$, %;

X_{71} - вязкость какао масла, $\mu_{км}$, Па·с; ;

X_{72} - температура какао масла на входе в коншмашину, t, °С;

Режимные параметры:

X_{73} – время разводки, гомогенизации и конширования, τ, мин.;

X_{74} – температура в процессе разводки, гомогенизации и конширования, t, °С;

X_{75} – число оборотов лопастей мешалки, п, об/мин;

Выходные параметры:

$Y_{18шм.}(X_{76})$ – вязкость полученной шоколадной массы, $\mu_{см}$, Па·с;

$Y_{19шм.}(X_{77})$ – вкус полученной шоколадной массы, В;

$Y_{20шм.}(X_{78})$ – аромат полученной шоколадной массы, З.

На основании полученных данных была спроектирована СПМ ТП разводки, гомогенизации и конширования, представленная на рисунке 4.21.



Рисунок 4.21 - СПМ ТП разводки, гомогенизации и конширования

Параметрическое моделирование ТП разводки, гомогенизации и конширования сводилось к построению матриц взаимосвязей (п. 4.1.1).

Разработанные оценки параметрических связей основных участков ТП разводки, гомогенизации и конширования подробно описаны в нашей статье [35].

На основании полученных результатов была спроектирована математическая модель ТП разводки, гомогенизации и конширования:

$$\begin{cases} Y_{1см}=0,92X_{67}+0,79X_{68}+0,54X_{69}-0,45X_{70}+0,84X_{71}+0,67X_{72}+0,71X_{73} \\ -0,73X_{74}+0,69X_{75} \\ Y_{2см}=0,53X_{67}+0,61X_{68}-0,65X_{69}-0,44X_{70}+0,63X_{71}+0,31X_{72} \\ -0,68X_{73}-0,65X_{74}-0,62X_{75} \\ Y_{3см}=0,56X_{67}+0,58X_{68}+0,63X_{69}-0,43X_{70}+0,54X_{71}+0,49X_{72}+0,52X_{73} \\ +0,59X_{74}+0,61X_{75} \end{cases} \quad (4.15)$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность (δ=1,0137), коэффициент множественной корреляции (R=0,92523), критерий Стьюдента (tr=241,154>>2) и критерий Фишера. Поэтому был сделан вывод об адекватности вышеприведённых уравнений, что позволило определить существенное влияние входных и режимных параметров на ТП разводки, гомогенизации и конширования.

Разработка СПиММ ТП темперирования

Полученную шоколадную массу быстро охлаждают от 45…50°С до 33°С, а затем медленно снижают температуру до 30…32,5°С (при выработке шоколада без добавлений) и выдерживают в этом температурном интервале, не прекращая интенсивного перемешивания (1 глава, п.1.2.1). Анализ полученных данных позволил установить влияние на процесс темперирования шоколадной массы:

входных параметров:

X_{76} – вязкость шоколадной массы, $\mu_{шм}$, Па·с;

Режимные параметры:

X_{79} – время темперирования, τ, мин.;

X_{80} – температура в процессе темперирования, t, °С;

X_{81} – число оборотов лопастей мешалки, п, об/мин;

Выходные параметры:

$Y_{21тшм}$ (X_{82}) – конечная вязкость шоколадной массы при t, 32 °С, μсм , Па·с.

Таким образом, основным критерием состояния шоколадной массы после темперирования, характеризующим готовность проведения формования изделий и глазирования корпусов конфет, является конечная величина вязкости, которая имеет оптимальное значение для каждого сорта приготавливаемой шоколадной массы при температуре 32 °С.

На основании полученных данных была спроектирована СПМ ТП темперирования шоколадной массы, представленная на рисунке 4.22.



Рисунок 4.22 - СПМ процесса темперирования

Проведенные расчеты позволили получить математическую модель процесса темперирования шоколадной массы:

$$Y_{21тшм} = 0,97X_{76} + 0,65X_{79} - 0,68X_{80} + 0,59X_{81} \qquad (4.16)$$

Адекватность полученного уравнения был проверен по таким величинам, как относительная погрешность (δ=1,0592), коэффициент множественной корреляции (R=0,9754), критерий Стьюдента (tr=251,274>>2) и критерий Фишера. Поэтому был сделан вывод об адекватности вышеприведённого уравнения.

Разработка СПиММ ТП формования плиток шоколада

Формование плиток шоколада подробно описано в 1 главе настоящей работы, раздел 1.2.1 «ТП производства шоколада». Эффективность процесса формования зависит от качества шоколадной массы после темперирования , а также от режимных параметров этого процесса. Анализ полученных данных позволил установить входные параметры, а также условия, влияющие на процесс формования плиток шоколада.

Входные параметры:

X_{82} – конечная вязкость шоколадной массы при Т= 32 °С, μсм , Па·с.

Режимные параметры:

X_{83} – температура форм для плиток шоколада, t, °С (30 - 32°С);

X_{84} – частота колебаний форм, f, Гц (33 Гц);

X_{85} – время охлаждения плиток шоколада, τ, мин. (19 - 25 мин.);

X_{86} – температура охлаждения плиток шоколада, t, °С (6 - 10°С);

Выходные параметры:

$Y_{22ш}$ (X_{87}) – вкус, В

$Y_{23ш}$ (X_{88}) – запах, З

$Y_{24ш}$ (X_{89}) – внешний вид, ВнВ

$Y_{25ш}$ (X_{90}) – форма, Ф

$Y_{26ш}$ (X_{91}) – консистенция, К

На основании полученных данных была спроектирована структурно-параметрическую модель (СПМ) процесса формования плиток шоколада, представленная на рисунке 4.23.



Рисунок 4.23 - СПМ процесса формования плиток шоколада

Параметрическое моделирование ТП формования плиток шоколада сводилось к построению матриц взаимосвязей (п. 4.1.1). Разработанные оценки параметрических связей основных участков ТП формования плиток шоколада подробно описаны в нашей статье [35]. На основании полученных результатов была спроектирована математическая модель процесса формования плиток шоколада:

$$\begin{cases} Y_{1пш} = 0{,}92X_{82} - 0{,}24X_{84} + 0{,}39X_{85} + 0{,}62X_{85} \\ Y_{2пш} = 0{,}91X_{82} + 0{,}22X_{84} + 0{,}68X_{85} - 0{,}72X_{86} \\ Y_{3пш} = 0{,}87X_{82} + 0{,}42X_{83} + 0{,}39X_{84} + 0{,}78X_{85} + 0{,}74X_{86} \\ Y_{4пш} = 0{,}79X_{82} + 0{,}51X_{83} + 0{,}48X_{84} - 0{,}81X_{85} + 0{,}84X_{86} \\ Y_{5пш} = 0{,}95X_{82} - 0{,}33X_{84} - 0{,}84X_{85} + 0{,}87X_{86} \end{cases} \quad (4.17)$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность (δ=1,0592), коэффициент множественной корреляции (R=0,9754), критерий Стьюдента (tr=251,274>>2) и критерий Фишера. Поэтому был сделан вывод об адекватности вышеприведённых уравнений.

4.1.4. Структурно – параметрические и математические модели ТП производства сбивных конфет

Исходным сырьем для получения сбивных конфет в зависимости от вида вырабатываемой продукции и принятой технологии служат различные типы сахаро-паточных сиропов: агаро- сахаро-паточный или пектино- сахаро-паточный сиропы. Поэтому первым процессом, который подлежит анализу является процесс приготовления этих сиропов.

Разработка СПиММ ТП приготовления сырья

Проведенные исследования и их анализ позволили выявить основные параметры, влияющие на данный процесс. Также были определены наиболее значимые выходные параметры, характеризующие качество полученного в процессе приготовления сиропа.

Основные входные параметры процесса:

X_1 - угол естественного откоса, град. 40 – 50;
X_2 - активная кислотность pH , от 4,6 до 7,5 в зависимости от сорта конфет;
X_3 - концентрация сахара в сиропе, C 80 до 75%;
X_4 - влажность сахара – песка,W 0,14 – 0,15 %;
X_5 - внешний вид агара или пектина, Вн;.
X_6 - вкус агара или пектина, В;
X_7 - запах агара или пектина, З;
X_8 - цвет агара или пектина, Ц.

Выходные параметры:

Y_{1c} (X_{13}) - цвет готового сиропа, Ц;
Y_{2c} (X_{14}) - вкус готового сиропа, В;
Y_{3c} (X_{15}) - запах готового сиропа, З;
Y_{4c} (X_{16}) - массовая доля сухих веществ в готовом сиропе,W от 78 до 80 %.
Y_{5c} (X_{17}) – концентрация патоки в готовом сиропе, W от 5 до 25 %.

В результате анализа полученных данных на рисунке 4.24 представлена разработанная структурно-параметрическая модель процесса подготовки сырья к производству сбивных конфет.

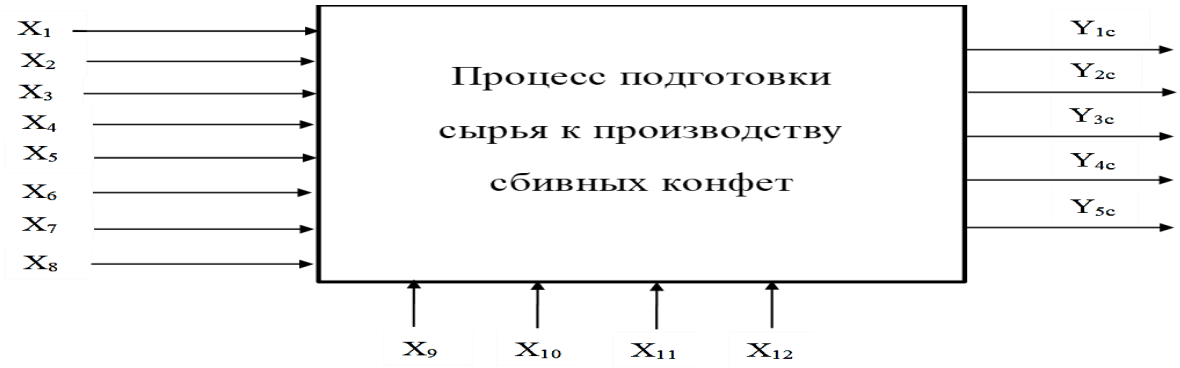


Рисунок 4.24 - СПМ процесса подготовки сырья к производству сбивных конфет

Параметрическое моделирование процесса подготовки сырья к производству сбивных конфет сводилось к построению матриц взаимосвязей (п.4.1.1.).

Получены ММ ТП подготовки сырья к производству сбивных конфет:

$$\begin{cases} Y_{1c}(X_{13}) = 0{,}25X_2 + 0{,}48X_3 + 0{,}37X_4 + 0{,}76X_5 + 0{,}82X_8 + 0{,}47X_9 + 0{,}55X_{10} + 0{,}42X_{11} + 0{,}36X_{12} \\ Y_{2c}(X_{14}) = 0{,}49X_2 + 0{,}52X_3 + 0{,}47X_4 + 0{,}91X_6 + 0{,}51X_9 + 0{,}52X_{10} + 0{,}33X_{11} + 0{,}28X_{12} \\ Y_{3c}(X_{15}) = 0{,}45X_2 + 0{,}38X_3 + 0{,}31X_4 + 0{,}94X_7 + 0{,}51X_9 + 0{,}48X_{10} + 0{,}56X_{11} + 0{,}22X_{12} \\ Y_{4c}(X_{16}) = 0{,}68X_1 + 0{,}34X_2 + 0{,}73X_3 + 0{,}72X_4 + 0{,}22X_8 + 0{,}36X_9 + 0{,}38X_{10} + 0{,}46X_{11} + 0{,}52X_{12} \\ Y_{5c}(X_{17}) = 0{,}21X_2 + 0{,}29X_3 + 0{,}46X_9 + 0{,}57X_{10} + 0{,}38X_{11} + 0{,}74X_{12} \end{cases} \quad (4.18)$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность, коэффициент множественной корреляции, критерий Стьюдента и критерий Фишера. Поэтому был сделан вывод об адекватности вышеприведённой математической модели (уравнения 4.28) реальному процессу, что позволило определить существенное влияние входных и режимных параметров на ТП подготовки сырья к производству сбивных конфет.

Разработка СПиММ ТП приготовления сбивной конфетной массы

Важный этапом производства сбивных конфет является ТП приготовления сбивной массы.Эффективность процесса приготовления сбивной массы зависит от показателей качества смешиваемых компонентов, от их температуры, а также от режимных параметров процесса. Были определены наиболее значимые выходные параметры, характеризующие качество полученной сбивной массы.

Входные параметры:

X_{13} - цвет готового агаро-сахарно- паточного сиропа, Ц;
X_{14} - вкус готового агаро-сахарно- паточного сиропа, В;
X_{15} - запах готового агаро-сахарно- паточного сиропа, З;
X_{16} – температура агаро-сахарно- паточного сиропа, подаваемого на сбивание $t_{п.с.}$ от 105 до 109 °С;
X_{17} – вязкость подаваемого на сбивание асп.с., ŋ, Па·с (от 9,0 Пас до 16 Па·с;);
X_{18} – массовая доля влаги подаваемого на сбивание п.с. W (от 15% до 19%);
X_{19} – давление пара перед началом сбивания Р (от 98 кПа до 117 кПа).

Режимные параметры:

X_{20} – время сбивания τ (от 7 до 10 минут)
X_{21} – температура процесса сбивания $t_{сб.}$ от 90°С до 100 °С;
X_{22} – температура воды в сбивальной машине $t_{х.в}$ от 8°С до 12°С;
X_{23} – частота вращения сбивальных лопастей п (от 0,35 1/с до 0,65 1/с).

Выходные параметры:

$Y_{6см}$ (X_{24}) - цвет сбитой массы, Ц;
$Y_{7см}$ (X_{25}) - вкус сбитой массы, В;
$Y_{8см}$ (X_{26}) - запах сбитой массы, З;
$Y_{9см}$ (X_{27}) - массовая доля сухих веществ в сбитой массе, W от 78 до 80 %.

На основании полученных данных была получена структурно- параметрическая модель ТП приготовления сбивной смеси (рисунок 4.25).



Рисунок 4.25 - СПМ ТП приготовления сбивной смеси

На основании полученных результатов была спроектирована математическая модель ТП приготовления сбивной конфетной массы:

$$\begin{cases} Y_{1см}=0,93X_{13}+0,55X_{16}+0,68X_{17}+0,49X_{18}+0,57X_{20}-0,63X_{21}+0,45X_{22}+0,25X_{23} \\ Y_{2см}=0,92X_{14}+0,43X_{15}+0,58X_{16}+0,75X_{17}+0,47X_{18}+0,62X_{20}-0,67X_{21}-0,31X_{22}+0,26X_{23} \\ Y_{3см}=0,27X_{14}+0,95X_{15}+0,41X_{16}+0,62X_{17}+0,58X_{18}+0,42X_{20}+0,39X_{21}+0,19X_{22}+0,44X_{23} \\ Y_{1см}=0,54X_{16}+0,61X_{17}+0,86X_{18}+0,33X_{19}+0,42X_{20}+0,64X_{21}-0,41X_{22}+0,47X_{23} \end{cases} \quad (4.19)$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность (δ=1,0742), коэффициент множественной корреляции (R=0,92385), критерий Стьюдента (tr=253,367>>2) и критерий Фишера. Поэтому был сделан вывод об адекватности модели ТП приготовления сбивной конфетной массы, что позволило определить существенное влияние входных и режимных параметров на исследуемый процесс.

Разработка СПиММ ТП формования сбивного слоя конфет

Формование сбивного слоя конфет подробно описано в 1 главе настоящей работы, раздел 1.2.2 «Анализ ТП производства сбивных масс». Анализ полученных данных позволил установить основные входные параметры, а также условия, влияющие на процесс формования сбивного слоя конфет.

Входные параметры:

X_{24} - цвет сбитой конфетной массы, Ц;

X_{25} - вкус сбитой конфетной массы, В;

X_{26} - запах сбитой конфетной массы, З;

X_{27} - массовая доля сухих веществ в сбитой массе, W от 78 до 80 %.

X_{28} - температура, t, ^{0}C (от 32 ^{0}C до 42 ^{0}C);

X_{29} - вязкость сбитой конфетной массы, μ, Па·с (от $4x10^{-2}$ Па·с; до $32x10^{-2}$ Па·с;);

Режимные параметры:

X_{30} - скорость выхода сбивного слоя из матричного отверстия станции отсадки пласта, V_m (от 9 до 15 мм/с);

X_{31} - скорость транспортерной ленты, Vтл, мм/с, (от 20 до 24,5 мм/с);

Выходные параметры:

$Y_{10ф}$ (X_{32}) - высота жгута сбивного слоя конфет на выходе, h (от 0,8 до 1,2 мм);

$Y_{11ф}$ (X_{33}) - вкус сбивного слоя конфет после формования, В;

$Y_{12ф}$ (X_{34}) - внешний вид сбивного слоя конфет после формования, ВнВ;

$Y_{13ф}$ (X_{35}) - цвет сбивного слоя конфет после формования, Ц;

$Y_{14ф}$ (X_{36}) – консистенция сбивного слоя конфет после формования, К;

На основании полученных данных была получена СПМ процесса формования сбивного слоя конфет, представленная на рисунке 4.26.



Рисунок 4.26 - СПМ процесса формования сбивного слоя конфет

Спроектирована математическая модель процесса формования сбивного слоя конфет:

$$\begin{cases} Y_{1ф} = -0{,}73X_{27} - 0{,}64X_{28} + 0{,}75X_{29} - 0{,}43X_{30} + 0{,}38X_{31} \\ Y_{2ф} = 0{,}97X_{25} + 0{,}32X_{26} - 0{,}65X_{27} + 0{,}48X_{28} + 0{,}51X_{29} \\ Y_{3ф} = 0{,}63X_{24} + 0{,}78X_{27} + 0{,}62X_{28} + 0{,}76X_{29} - 0{,}57X_{30} - 0{,}45X_{31} \\ Y_{4ф} = 0{,}95X_{24} + 0{,}46X_{27} + 0{,}48X_{28} + 0{,}54X_{29} \\ Y_{5ф} = 0{,}77X_{24} + 0{,}53X_{25} + 0{,}38X_{26} - 0{,}83X_{27} - 0{,}52X_{28} + 0{,}83X_{29} + 0{,}25X_{30} + 0{,}18X_{31} \end{cases} \quad (4.20)$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность (δ=1,0592), коэффициент множественной корреляции (R=0,9754), критерий Стьюдента (tr=251,274>>2) и критерий Фишера. Поэтому был сделан вывод об адекватности вышеприведённых уравнений.

Разработка СПиММ ТП охлаждения и выстойки корпусов сбивных конфет

Следующим этапом производства сбивных конфет является этап охлаждения и выстойки их корпусов. Процесс охлаждения зависит от показателей качества и начальной температуры сбивного слоя конфет. Анализ полученных данных позволил установить:

входные параметры:
X_{32} - высота жгута сбивного слоя конфет;
X_{33} - вкус сбивного слоя конфет после формования, В;
X_{34} - внешний вид сбивного слоя конфет после формования, ВнВ;
X_{35} - цвет сбивного слоя конфет после формования, Ц;
X_{36} – консистенция сбивного слоя конфет после формования, К;
X_{37} – температура сбивного слоя конфет на входе, t, не выше 32°С;
Режимные параметры:
X_{38} – время охлаждения и выстойки корпусов сбивных конфет, τ , мин.
X_{39} – температура охлаждения корпусов сбивных конфет, t, 25…30°С;
Выходные параметры:
Y_{15ox} (X_{40}) – температура корпусов сбивных конфет на выходе, t, °С;
Y_{16ox} (X_{41}) - внешний вид сбивных конфет на выходе из тоннеля, (Вн.В).

На основании полученных данных была спроектирована СПМ процесса охлаждения и выстойки корпусов сбивных конфет, представленная на рисунке 4.27.



Рисунок 4.27 - СПМ процесса охлаждения и выстойки корпусов конфет

Получена математическая модель процесса охлаждения и выстойки корпусов сбивных конфет:

$$\left.\begin{aligned} Y_{1ox} &= 0{,}26X_{32}+0{,}52X_{36}+0{,}66X_{37}-0{,}84X_{38}+0{,}92X_{39} \\ Y_{2ox} &= 0{,}58X_{32}+0{,}96X_{34}+0{,}68X_{35}+0{,}48X_{36}-0{,}51X_{37}+0{,}63X_{38}+0{,}51X_{39} \end{aligned}\right\} \quad (4.21)$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность (δ=1,0463), коэффициент множественной корреляции (R=0,9382), критерий Стьюдента (tr=251,274>>2) и критерий Фишера. Поэтому был сделан вывод об адекватности вышеприведённых уравнений, что позволило определить влияние входных и режимных параметров на процесс охлаждения и выстойки корпусов сбивных конфет.

Разработка СПиММ ТП глазирования корпусов сбивных конфет

Следующим важным этапом производства сбивных конфет является глазирование корпусов конфет шоколадной глазурью. Процесс глазирования зависит от температуры корпусов сбивных конфет на выходе из холодильного тоннеля, их внешнего вида (в том числе формы корпусов неглазированных сбивных конфет), показателей качества шоколадной глазури и от режимных параметров процесса глазирования. Анализ полученных данных позволил установить:

Основные входные параметры процесса:

X_{40} – температура корпусов сбивных конфет на выходе из тоннеля, t, °С;
X_{41} - внешний вид сбивных конфет на выходе из холодильного тоннеля, Вн.В;

Режимные параметры:

X_{42} – вязкость шоколадной глазури μ, Па·с (от 4х10-2 Па·с до 32х10-2 Па·с);
X_{43} – температура шоколадной глазури, t, °С (32 - 38°С);

Выходные параметры:

$Y_{17гк}$ (X_{44}) – вкус сбивных конфет, В;
$Y_{18ск}$ (X_{45}) – цвет поверхности сбивных конфет, глазированных шоколадной глазурью, Ц
$Y_{19гк}$ (X_{46}) - запах, З;
$Y_{20гк}$ (X_{47}) - форма сбивных конфет, глазированных шоколадной глазурью, Ф;
$Y_{21гк}$ (X_{48}) – уровень блеска поверхности сбивных глазированных конфет, Б;
$Y_{22гк}$ (X_{49}) – консистенция, К.

И на основании полученных данных была спроектирована СПМ процесса глазирования корпусов сбивных конфет, представленная на рисунке 4.28.



Рисунок 4.28 - СПМ процесса глазирования корпусов сбивных конфет

Параметрическое моделирование процесса глазирования корпусов сбивных конфет сводилось к построению матриц взаимосвязей (п.4.1.1.).

На основании полученных результатов была спроектирована математическая модель процесса глазирования корпусов сбивных конфет:

$$\left.\begin{aligned} Y_{1гк} &= 0{,}67X_{40} + 0{,}58X_{41} + 0{,}66X_{42} + 0{,}76X_{43} \\ Y_{2гк} &= 0{,}21X_{40} + 0{,}86X_{41} + 0{,}24X_{42} + 0{,}27X_{43} \\ Y_{3гк} &= 0{,}26X_{40} + 0{,}45X_{42} + 0{,}32X_{43} \\ Y_{4гк} &= 0{,}68X_{40} + 0{,}92X_{41} + 0{,}77X_{42} + 0{,}71X_{43} \\ Y_{5гк} &= 0{,}63X_{40} + 0{,}94X_{41} + 0{,}75X_{42} + 0{,}62X_{43} \\ Y_{6гк} &= 0{,}65X_{40} + 0{,}75X_{41} + 0{,}96X_{42} + 0{,}72X_{43} \end{aligned}\right\} \quad (4.22)$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность (δ=1,1327), коэффициент множественной корреляции (R=0,9161), критерий Стьюдента (tr=230,724>>2) и критерий Фишера. Поэтому был сделан вывод об адекватности вышеприведённых уравнений.

4.1.5. Структурно – параметрические и математические модели (СПММ) ТП производства мармелада

Основные стадии производства мармелада представлены в 1 главе , в разделе 1.2.4. «Анализ ТП производства мармелада». Исходным сырьем для получения мармелада служит пектино- сахаро- паточный сироп (ПСПС).

Разработка СПММ ТП приготовления ПСПС

Проведенные исследования и их анализ позволили выявить основные параметры, влияющие на процесс приготовления ПСПС. Также были определены наиболее значимые выходные параметры, характеризующие качество полученного в процессе приготовления этого пектино-сахарного- паточного сиропа.

Основные входные параметры процесса:

X_1 - угол естественного откоса, град. 40 – 50;
X_2 - активная кислотность pH , от 4,6 до 7,5 в зависимости от сорта конфет;
X_3 - концентрация сахара в сиропе, C 80 до 75%;
X_4 - влажность сахара – песка,W 0,14 – 0,15 %;
X_5 - внешний вид пектина, Вн;.
X_6 - вкус пектина, В;
X_7 - запах пектина, З;
X_8 - цвет пектина, Ц;

Выходные параметры:

Y_{1c} (X_{13}) - цвет готового сиропа, Ц;
Y_{2c} (X_{14}) - вкус готового сиропа, В;
Y_{3c} (X_{15}) - запах готового сиропа, З;
Y_{4c} (X_{16}) - массовая доля сухих веществ в готовом сиропе,W от 78 до 80 %.
Y_{5c} (X_{17}) – концентрация патоки.

На рисунке 4.29 показана разработанная СПМ процесса приготовления ПСПС.



Рисунок 4.29 - СПМ процесса приготовления ПСПС

Параметрическое моделирование процесса подготовки сырья к производству мармелада сводилось к построению матриц взаимосвязей (п.4.1.1.). На основании полученных результатов была спроектирована математическая модель:

$$
\begin{cases}
Y_{1c}(X_{13}) = 0{,}25X_2 + 0{,}48X_3 + 0{,}37X_4 + 0{,}76X_5 + 0{,}82X_8 + 0{,}47X_9 + 0{,}55X_{10} + 0{,}42X_{11} + 0{,}36X_{12} \\
Y_{2c}(X_{14}) = 0{,}49X_2 + 0{,}52X_3 + 0{,}47X_4 + 0{,}91X_6 + 0{,}51X_9 + 0{,}52X_{10} + 0{,}33X_{11} + 0{,}28X_{12} \\
Y_{3c}(X_{15}) = 0{,}45X_2 + 0{,}38X_3 + 0{,}31X_4 + 0{,}94X_7 + 0{,}51X_9 + 0{,}48X_{10} + 0{,}56X_{11} + 0{,}22X_{12} \\
Y_{4c}(X_{16}) = 0{,}68X_1 + 0{,}34X_2 + 0{,}73X_3 + 0{,}72X_4 + 0{,}22X_8 + 0{,}36X_9 + 0{,}38X_{10} + 0{,}46X_{11} + 0{,}52X_{12} \\
Y_{5c}(X_{17}) = 0{,}21X_2 + 0{,}29X_3 + 0{,}46X_9 + 0{,}57X_{10} + 0{,}38X_{11} + 0{,}74X_{12}
\end{cases}
\qquad (4.23)
$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность, коэффициент множественной корреляции, критерий Стьюдента и критерий Фишера. Поэтому был сделан вывод об адекватности вышеприведённой математической модели (уравнения 4.23) реальному ТП, что позволило определить существенное влияние входных и режимных параметров на ТП подготовки сырья к производству мармелада.

Разработка СПиММ ТП приготовления мармеладной массы

Важный этапом производства мармелада является ТП приготовления мармеладной массы. Анализ полученных данных позволил установить:

Входные параметры:

X_{13} - цвет готового агаро-сахарно- паточного сиропа, Ц;
X_{14} - вкус готового агаро-сахарно- паточного сиропа, В;
X_{15} - запах готового агаро-сахарно- паточного сиропа, З;
X_{16} – температура агаро-сахарно- паточного сиропа, $t_{с.}$ (от 105 до 109 °С);
X_{17} – массовая доля влаги сиропа, W (от 15% до 19%);
Режимные параметры:
X_{19} – температура процесса перемешивания $t_{сб.}$ от 90°С до 100 °С;
X_{22} – частота вращения мешалки п (от 0,35 1/с до 0,65 1/с).
X_{23} – давление пара в варочном аппарате Р (от 98 кПа до 117 кПа).
Выходные параметры:
$Y_{1мм}$ (X_{24}) - цвет мармеладной массы, Ц;
$Y_{2мм}$ (X_{25}) - вкус мармеладной массы, В;
$Y_{3мм}$ (X_{26}) - запах мармеладной массы а, З;
$Y_{4мм}$ (X_{27}) - массовая доля сухих веществ в сбитой массе, W (от 78 до 80 %).
$Y_{5\ мм}$ (X_{28}) - вязкость мармеладной массы, η;
$Y_{6\ им}$ (X_{29}) - pH мармеладной массы на выходе, (3.1 – 3,2);
$Y_{7\ мм}$ (X_{30}) – температура мармеладной массы на выходе, $t_{\ мм}$ (от 106 - 107 °С);
$Y_{8\ мм}$ (X_{31}) – конечная влажность мармеладной массы, W, (30—32 %).

На рисунке 4.30 представлена СПМ ТП приготовления мармеладной массы.



Рисунок 4.30 - СПМ процесса приготовления мармеладной массы

Параметрическое моделирование процесса приготовления мармеладной массы сводилось к построению матриц взаимосвязей (п.4.1.1.). На основании

полученных результатов была спроектирована математическая модель ТП приготовления мармеладной массы:

$$\begin{cases} Y_{1мм}=0,94X_{13}+0,52X_{16}+0,49X_{17}+0,53X_{18}+0,44X_{19}+0,61X_{20}+0,51X_{21}+0,42X_{22}+0,58X_{23} \\ Y_{2см}=0,93X_{14}+0,39X_{15}+0,57X_{16}+0,63X_{17}+0,48X_{18}+0,46X_{19}+0,56X_{20}+0,66X_{21}+0,32X_{22}+0,27X_{23} \\ Y_{3см}=0,26X_{14}+0,94X_{15}+0,48X_{16}+0,51X_{17}+0,49X_{18}+0,52X_{19}+0,54X_{20}+0,65X_{21}+0,22X_{22}+0,43X_{23} \\ Y_{4см}=0,62X_{16}+0,81X_{17}-0,58X_{18}-0,63X_{19}-0,84X_{20}-0,78X_{21}-0,46X_{22}+0,47X_{23} \\ Y_{5мм}=0,63X_{16}+0,68X_{17}+0,59X_{18}+0,74X_{19}+0,76X_{20}+0,67X_{21}+0,45X_{22}+0,41X_{23} \\ Y_{6мм}=0,59X_{14}+0,25X_{15}+0,37X_{16}+0,49X_{17}+0,34X_{18}+0,36X_{19}+0,47X_{20}+0,41X_{21}+0,27X_{22}+0,48X_{23} \\ Y_{7мм}=0,43X_{13}+0,53X_{14}+0,51X_{15}+0,49X_{16}+0,72X_{17}+0,54X_{18}+0,95X_{19}+0,35X_{20}+0,91X_{21}+0,42X_{22}+0,38X_{23} \\ Y_{8мм}=0,33X_{13}+0,64X_{16}+0,82X_{17}+0,58X_{18}+0,76X_{19}-0,81X_{20}-0,66X_{21}+0,48X_{22}+0,57X_{23} \end{cases} \quad (4.24)$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность (δ=1,1541), коэффициент множественной корреляции (R=0,94472), критерий Стьюдента (tr=221,365>>2) и критерий Фишера. Поэтому был сделан вывод об адекватности полученной модели.

Разработка СПиММ ТП темперирования мармеладной массы

Темперирование мармеладной массы протекает в специальном аппарате при интенсивном перемешивании. Анализ полученных данных позволил установить:

Входные параметры:

X_{28} – вязкость мармеладной массы, $\mu_{шм}$, Па·с, (от 9,0 Па·с до 16 Па·с);
X_{30} – температура мармеладной массы, t, °С (от 106 - 107 °С);

Режимные параметры:

X_{32} – время темперирования, τ, мин.;

X_{33} – температура в процессе темперирования, t, °С;
X_{34} – число оборотов лопастей мешалки, п, об/мин;
Выходные параметры:
$Y_{1мм}$ (X_{35}) – конечная вязкость мармеладной массы, $\mu_{мм}$, Па·с.
$Y_{2мм}$ (X_{36}) – температура мармеладной массы, t, °С.

Основным критерием качества мармеладной массы после темперирования, является величина вязкости, которая имеет для каждого сорта определенное значение. На основании полученных данных была спроектирована СПМ процесса темперирования мармеладной массы, представленная на рисунке 4.31.



Рис. 4.31. СПМ процесса темперирования мармеладной массы

Параметрическое моделирование процесса темперирования мармеладной массы сводилось к построению матриц взаимосвязей (п.4.1.1.). На основании полученных результатов была спроектирована математическая модель процесса темперирования мармеладной массы:

$$\left.\begin{aligned} Y_{1мм} &= 0{,}97X_{28} - 0{,}66X_{30} - 0{,}68X_{32} - 0{,}63X_{33} + 0{,}48X_{34} \\ Y_{2мм} &= -0{,}76X_{28} + 0{,}95X_{30} + 0{,}48X_{32} + 0{,}93X_{33} + 0{,}44X_{34} \end{aligned}\right\} \qquad (4.25)$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность (δ=1,0354), коэффициент множественной корреляции (R=0,9672), критерий Стьюдента (tr=242,157>>2) и критерий Фишера. Полученные результаты показали адекватность вышеприведённых уравнений процессу темперирования мармеладной массы.

Разработка СПММ ТП формования мармелада

Формование мармелада подробно описано в 1 главе настоящей работы в п.1.2.5 «Анализ ТП производства мармелада». Эффективность процесса формования зависит от качества мармеладной массы после темперирования, а также от режимных параметров процесса. Анализ полученных данных позволил установить входные параметры, а также условия, влияющие на процесс формования.

Входные параметры:

X_{35} – конечная вязкость мармеладной массы, $\mu_{мм}$, Па·с.

X_{36} – температура мармеладной массы, t, °С.

Режимные параметры:

X_{37} – температура охлаждающей камеры с вентилятором, t, °С;

X_{38} – время желирования и структурообразования мармеладной массы, τ, мин.;

X_{39} – температура сушилки, t, °С;

X_{40} – время сушки желированной мармеладной массы, τ, мин.;

Выходные параметры:

$Y_{1м}$ (X_{41}) – вкус готового мармелада, В;

$Y_{2м}$ (X_{42}) – запах готового мармелада, З;

$Y_{3м}$ (X_{43}) – цвет готового мармелада, Ц;

$Y_{4м}$ (X_{44}) – форма готового мармелада, Ф;

$Y_{5м}$ (X_{45}) – поверхность готового мармелада, П;

$Y_{6м}$ (X_{46}) – консистенция готового мармелада, К.

$Y_{7м}$ (X_{47}) – температура готового мармелада, t, °С;

На основании полученных данных была спроектирована СПМ процесса формования мармелада, представленная на рисунке 4.32.



Рисунок 4.32 - СПМ процесса формования мармелада

Параметрическое моделирование процесса формования мармелада сводилось к построению матриц взаимосвязей (п.4.1.1.). На основании данных

результатов была получена математическая модель процесса формования мармелада:

$$
\begin{cases}
Y_{1м} = 0{,}62X_{35} + 0{,}44X_{36} + 0{,}48X_{37} + 0{,}65X_{38} + 0{,}68X_{39} + 0{,}72X_{40} \\
Y_{2м} = 0{,}41X_{35} + 0{,}32X_{36} + 0{,}34X_{37} + 0{,}72X_{38} + 0{,}71X_{39} + 0{,}76X_{40} \\
Y_{3м} = 0{,}47X_{35} + 0{,}52X_{36} + 0{,}54X_{37} + 0{,}76X_{38} + 0{,}66X_{39} + 0{,}62X_{40} \\
Y_{4м} = 0{,}84X_{35} + 0{,}72X_{36} + 0{,}68X_{37} + 0{,}81X_{38} + 0{,}72X_{39} + 0{,}66X_{40} \\
Y_{5м} = 0{,}94X_{35} + 0{,}33X_{36} - 0{,}84X_{37} + 0{,}87X_{38} - 0{,}78X_{39} + 0{,}79X_{40} \\
Y_{6м} = 0{,}96X_{35} - 0{,}64X_{36} + 0{,}49X_{37} + 0{,}62X_{38} + 0{,}78X_{39} + 0{,}74X_{40} \\
Y_{7м} = 0{,}22X_{36} + 0{,}94X_{37} - 0{,}32X_{38} + 0{,}92X_{39} + 0{,}76X_{40}
\end{cases}
\qquad (4.26)
$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность (δ=1,0168), коэффициент множественной корреляции (R=0,9288), критерий Стьюдента (tr=235,744>>2) и критерий Фишера (полученное расчетное значение критерия Фишера было больше теоретического критерия Фишера). Поэтому был сделан вывод об адекватности вышеприведённых уравнений, что позволило определить существенное влияние входных и режимных параметров на процесс формования мармелада.

4.1.6. Структурно – параметрические и математические модели ТП производства карамели

Основные стадии производства леденцовой карамели представлены в 1 главе п.1.2.5. «Анализ ТП производства карамели». Исходным сырьем для получения карамели служит сахарный песок, вода и патока. Поэтому первым процессом, который подлежит анализу является процесс приготовления сиропа.

Разработка СПиММ ТП приготовления сахаро-паточного сиропа (СПС)

СПС получают при смешивании и нагреве в течение определенного времени, зависящего от оборудования. Проведенные исследования и их анализ позволили выявить основные параметры, влияющие на процесс приготовления

СПС. Также были определены наиболее значимые выходные параметры, характеризующие качество полученного в процессе приготовления СПС.

Основные входные параметры процесса:

X_1 - угол естественного откоса, град. 40 – 50;
X_2 - активная кислотность pH , от 4,6 до 7,5 в зависимости от сорта конфет;
X_3 - концентрация сахара в сиропе, С 80 до 75%;
X_4 - влажность сахара – песка,W 0,14 – 0,15 %;
X_5 - вязкость патоки, μ, Па·с (от 2х10-2 Па·с до 28х10-2 Па·с);.
X_6 - вкус патоки, В;
X_7 - запах патоки, З;
X_8 - цвет патоки, Ц.

Выходные параметры:

Y_{1c} (X_{13}) - цвет готового сиропа, Ц;
Y_{2c} (X_{14}) - вкус готового сиропа, В;
Y_{3c} (X_{15}) - запах готового сиропа, З;
Y_{4c} (X_{16}) - массовая доля сухих веществ в готовом сиропе,W от 78 до 80 %.
Y_{5c} (X_{17}) – концентрация патоки.

В результате анализа полученных данных на рисунке 4.33 представлена разработанная структурно-параметрическая модель.

Параметрическое моделирование процесса приготовления сахаро-паточного сиропа сводилось к построению матриц взаимосвязей (п.4.1.1.).



Рисунок 4.33 - СПМ процесса приготовления СПС.

Разработанные по описанной выше методике СПМ оценки параметрических связей участка приготовления сахаро-паточного сиропа подробно описаны

в наших статьях [25, 28]. На основании данных результатов была получена математическая модель ТП приготовления сахаро-паточного сиропа:

$$\begin{cases} Y_{1c}(X_{13}) = 0{,}25X_2 + 0{,}48X_3 + 0{,}37X_4 + 0{,}76X_5 + 0{,}82X_8 + 0{,}47X_9 + 0{,}55X_{10} + 0{,}42X_{11} + 0{,}36X_{12} \\ Y_{2c}(X_{14}) = 0{,}49X_2 + 0{,}52X_3 + 0{,}47X_4 + 0{,}91X_6 + 0{,}51X_9 + 0{,}52X_{10} + 0{,}33X_{11} + 0{,}28X_{12} \\ Y_{3c}(X_{15}) = 0{,}45X_2 + 0{,}38X_3 + 0{,}31X_4 + 0{,}94X_7 + 0{,}51X_9 + 0{,}48X_{10} + 0{,}56X_{11} + 0{,}22X_{12} \\ Y_{4c}(X_{16}) = 0{,}68X_1 + 0{,}34X_2 + 0{,}73X_3 + 0{,}72X_4 + 0{,}22X_8 + 0{,}36X_9 + 0{,}38X_{10} + 0{,}46X_{11} + 0{,}52X_{12} \\ Y_{5c}(X_{17}) = 0{,}21X_2 + 0{,}29X_3 + 0{,}46X_9 + 0{,}57X_{10} + 0{,}38X_{11} + 0{,}74X_{12} \end{cases} \quad (4.27)$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность, коэффициент множественной корреляции, критерий Стьюдента и критерий Фишера. Полученные результаты позволили сделать вывод об адекватности вышеприведённой математической модели (уравнения 4.27).

Разработка СПиММ ТП приготовления карамельной массы – уваривание карамельной массы

Важный этапом производства карамели является ТП приготовления карамельной массы, который характеризуется следующим.

Входные параметры:

X_{13} - цвет готового сахарно- паточного сиропа, Ц;
X_{14} - вкус готового сахарно- паточного сиропа, В;
X_{15} - запах готового сахарно- паточного сиропа, З;
X_{16} – температура сахарно- паточного сиропа, $t_{с.}$ (от 105 до 109 °С);
X_{17} –влажность сахарно- паточного сиропа, W (от 14% до 19%);
Режимные параметры:
X_{19} – температура процесса перемешивания $t_{сб.}$ от 90°С до 100 °С;
X_{22} – частота вращения мешалки п (от 0,35 1/с до 0,65 1/с).
X_{23} – давление пара в варочном аппарате Р (от 98 кПа до 120 кПа).
Выходные параметры:
$Y_{1км}$ (X_{24}) - цвет карамельной массы, Ц;

$Y_{2км}$ (X_{25}) - вкус карамельной массы, В;
$Y_{3км}$ (X_{26}) - запах карамельной массы, З;
$Y_{4км}$ (X_{27}) – влажность карамельной массы, W (от 1,5 до 4 %).
$Y_{5км}$ (X_{28}) - вязкость карамельной массы, η;
$Y_{6км}$ (X_{29}) - pH карамельной массы на выходе, (3.1 – 3,2);
$Y_{7км}$ (X_{30}) – температура карамельной массы на выходе, $t_{мм}$ (от 106 - 107 °С);

На рисунке 4.34 представлена структурно- параметрическая модель ТП приготовления карамельной массы.

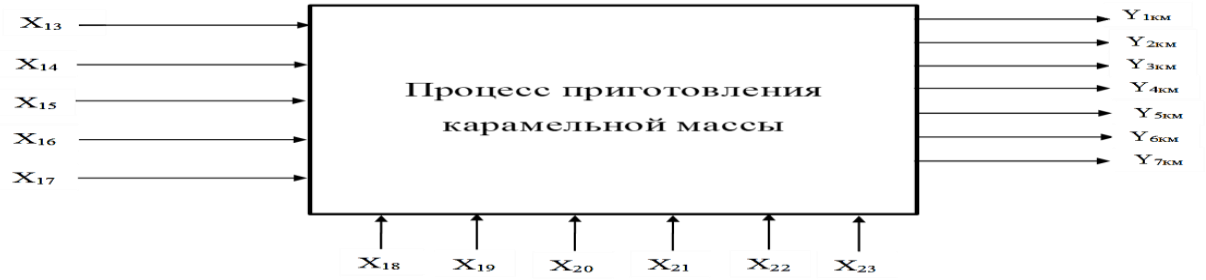


Рисунок 4.34 - СПМ процесса приготовления карамельной массы

Параметрическое моделирование процесса приготовления карамельной массы сводилось к построению матриц взаимосвязей (п.4.1.1.). На основании полученных результатов была спроектирована математическая модель ТП приготовления карамельной массы:

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность, коэффициент множественной корреляции, критерий Стьюдента и критерий Фишера.

$$\begin{cases} Y_{1км}=0,94X_{13}+0,52X_{16}+0,49X_{17}+0,53X_{18}+0,44X_{19}+0,61X_{20}+0,51X_{21}+0,42X_{22}+0,58X_{23} \\ Y_{2км}=0,93X_{14}+0,39X_{15}+0,57X_{16}+0,63X_{17}+0,48X_{18}+0,46X_{19}+0,56X_{20}+0,66X_{21}+0,32X_{22}+0,27X_{23} \\ Y_{3км}=0,26X_{14}+0,94X_{15}+0,48X_{16}+0,51X_{17}+0,49X_{18}+0,52X_{19}+0,54X_{20}+0,65X_{21}+0,22X_{22}+0,43X_{23} \\ Y_{4км}=0,62X_{16}+0,81X_{17}-0,58X_{18}-0,63X_{19}-0,84X_{20}-0,78X_{21}-0,46X_{22}+0,47X_{23} \\ Y_{5км}=0,63X_{16}+0,68X_{17}+0,59X_{18}+0,74X_{19}+0,76X_{20}+0,67X_{21}+0,45X_{22}+0,41X_{23} \end{cases} \quad (4.28)$$

$$\left.\begin{aligned} Y_{6км}&=0,59X_{14}+0,25X_{15}+0,37X_{16}+0,49X_{17}+0,34X_{18}+0,36X_{19}+0,47X_{20}\\ &+0,41X_{21}+0,27X_{22}+0,48X_{23}\\ Y_{7км}&=0,43X_{13}+0,53X_{14}+0,51X_{15}+0,49X_{16}+0,72X_{17}+0,54X_{18}+0,95X_{19}\\ &+0,35X_{20}+0,91X_{21}+0,42X_{22}+0,38X_{23} \end{aligned}\right\}$$

Полученные результаты позволили сделать вывод об адекватности вышеприведённой математической модели.

Разработка СПиММ ТП охлаждения и обработки карамельной массы

Полученная масса подается на барабан охлаждающей машины и быстро охлаждается до 68-70°С. Анализ полученных данных позволил установить:

Входные параметры:

X_{24} - цвет карамельной массы, Ц;
X_{25} - вкус карамельной массы, В;
X_{26} - запах карамельной массы, З;
X_{27} – влажность карамельной массы, W (от 1,5 до 4 %).
X_{28} - вязкость карамельной массы, η;
X_{29} - pH карамельной массы на выходе, (3.1 – 3,2);
X_{30} – температура карамельной массы на выходе, $t_{км}$ (от 106 - 107 °С).
Режимные параметры:
X_{31} – время охлаждения, τ, мин.(зависит от сорта карамели);
X_{32} – температура охлаждения, t, °С (68 - 70°С);
X_{33} – время обработки карамельной массы на транспортере, τ, мин.;
Выходные параметры:
$Y_{1кмо}$ (X_{34}) – конечная вязкость карамельной массы, $\mu_{км}$, Па·с.
$Y_{2кмо}$ (X_{35}) – температура карамельной массы, t, °С;
$Y_{3кмо}$ (X_{36}) – цвет карамельной массы, Ц;
$Y_{4кмо}$ (X_{37}) – вкус карамельной массы, В;
$Y_{5кмо}$ (X_{38}) – запах карамельной массы, З;

Таким образом, основным критерием качества карамельной массы после охлаждения и обработки является конечная величина вязкости, которая имеет для каждого сорта карамели определенное значение, выходная температура, а также органолептические показатели полученной карамельной массы: цвет, вкус и запах. На основании полученных данных была спроектирована СПМ процесса охлаждения и обработки карамельной массы, представленная на рисунке 4.35.

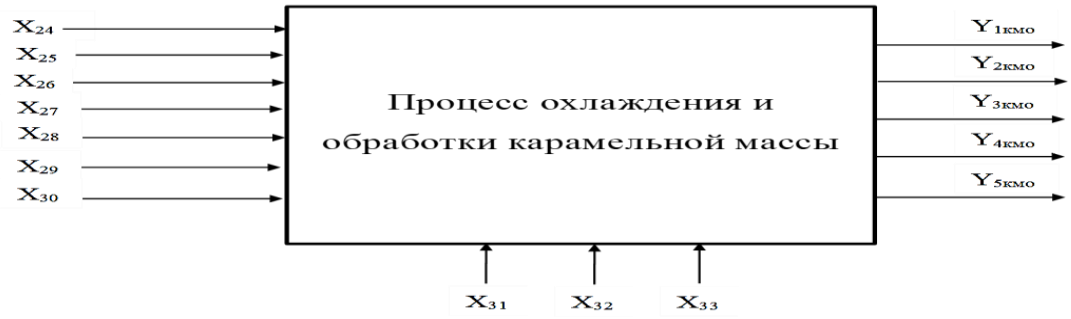


Рисунок 4.35 - СПМ процесса охлаждения и обработки карамельной массы

Параметрическое моделирование процесса охлаждения и обработки карамельной массы сводилось к построению матриц взаимосвязей (п.4.1.1.). На основании полученных результатов была спроектирована математическая модель процесса охлаждения и обработки карамельной массы:

$$Y_{1кмо} = -0{,}67X_{27}+0{,}95X_{28}+0{,}31X_{29}+0{,}61X_{30}+0{,}72X_{31}+0{,}73X_{32}+0{,}68X_{33} \quad (4.29)$$

$$Y_{2кмо} = 0{,}49X_{27}+0{,}52X_{28}+0{,}81X_{30}+0{,}62X_{31}+0{,}78X_{32}+0{,}56X_{33}$$

$$Y_{3кмо} = 0{,}94X_{24}+0{,}26X_{25}+0{,}49X_{26}+0{,}56X_{27}+0{,}62X_{28}+0{,}33X_{29}+0{,}52X_{30}+0{,}57X_{31}+0{,}58X_{32}+0{,}65X_{33}$$

$$Y_{4кмо} = 0{,}24X_{24}+0{,}87X_{25}+0{,}41X_{26}-0{,}61X_{27}+0{,}64X_{28}+0{,}61X_{29}+0{,}51X_{30}+0{,}56X_{31}+0{,}58X_{32}+0{,}68X_{33}$$

$$Y_{5кмо} = 0{,}32X_{25}+0{,}92X_{26}+0{,}67X_{27}+0{,}64X_{28}+0{,}61X_{29}+0{,}71X_{30}+0{,}72X_{31}+0{,}68X_{32}+0{,}87X_{33}$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность, коэффициент множественной корреляции, критерий Стьюдента и критерий Фишера. Полученные результаты позволили сделать вывод об адекватности вышеприведённой математической модели.

Разработка СПиММ ТП формования и охлаждения карамели

Процессы формования и охлаждения карамели подробно описаны в 1 главе настоящей работы в разделе 1.2.5 «Анализ ТП производства карамели». Полученные данные позволили установить:

Входные параметры:

X_{34} – конечная вязкость карамельной массы, $\mu_{мм}$, Па·с.

X_{35} – температура карамельной массы, t, °С (от 32 0С до 42 ^{0}С);

Режимные параметры:

X_{39} - скорость выхода карамельной массы из матричного отверстия, Vm (от 9 до 15 мм/с);

X_{40} - скорость транспортерной ленты, Vтл - 22,7 мм/с, (от 20 до 24,5 мм/с);

X_{41} - высота жгута карамели на выходе, h (от 0,8 до 1,2 мм);

X_{42} – температура охлаждения карамели, t, °С;

X_{43} – время охлаждения карамели, τ, мин.;

Выходные параметры:

$Y_{1к}$ (X_{44}) – вкус готовой карамели, В;

$Y_{2к}$ (X_{45}) – запах готовой карамели, З;

$Y_{3к}$ (X_{46}) – цвет готовой карамели, Ц;

$Y_{4к}$ (X_{47}) – форма готовой карамели, Ф;

$Y_{5к}$ (X_{48}) – консистенция готовой карамели, К.

$Y_{6к}$ (X_{49}) – температура готовой карамели, t, °С;

На основании полученных результатов была спроектирована СПМ процессов формования и охлаждения карамели, представленная на рисунке 4.36.



Рисунок 4.36 - СПМ процессов формования и охлаждения карамели

Параметрическое моделирование процессов формования и охлаждения карамели сводилось к построению матриц взаимосвязей (п.4.1.1.). На основании полученных результатов была спроектирована математическая модель процессов формования и охлаждения карамели:

$$\begin{cases} Y_{1к} = 0{,}63X_{34} + 0{,}64X_{35} + 0{,}34X_{39} - 0{,}48X_{41} + 0{,}67X_{42} + 0{,}62X_{43} \\ Y_{2к} = 0{,}42X_{34} + 0{,}64X_{35} + 0{,}52X_{39} + 0{,}58X_{42} + 0{,}52X_{43} \\ Y_{3к} = 0{,}47X_{34} + 0{,}53X_{35} + 0{,}44X_{39} + 0{,}57X_{40} + 0{,}62X_{41} + 0{,}67X_{42} + 0{,}59X_{43} \\ Y_{4к} = 0{,}76X_{34} + 0{,}78X_{35} + 0{,}69X_{39} + 0{,}65X_{40} + 0{,}68X_{41} + 0{,}72X_{42} + 0{,}68X_{43} \\ Y_{5к} = 0{,}92X_{34} + 0{,}74X_{35} + 0{,}78X_{39} + 0{,}62X_{41} + 0{,}74X_{42} + 0{,}71X_{43} \\ Y_{6к} = 0{,}58X_{34} + 0{,}88X_{35} + 0{,}66X_{39} + 0{,}57X_{41} + 0{,}92X_{42} + 0{,}78X_{43} \end{cases} \quad (4.30)$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность, коэффициент множественной корреляции, критерий Стьюдента и критерий Фишера. Полученные результаты позволили сделать вывод об адекватности вышеприведённой математической модели.

4.1.7. Структурно – параметрические и математические модели производства зефира

Исходным сырьем для получения зефира служит сахар- песок, вода, агар и патока. Поэтому первым процессом, который подлежит анализу является процесс приготовления агаро- сахаро- паточного сиропа.

Разработка СПиММ ТП приготовления агаро- сахаро- паточного сиропа

Проведенные исследования и их анализ позволили выявить основные параметры, влияющие на процесс приготовления агаро-сахаро-паточного сиропа.

Основные входные параметры процесса:

X_1 - угол естественного откоса, град. 40 – 50;
X_2 - активная кислотность pH сахара песка, (от 4,6 до 7,5);
X_3 - концентрация сахара в сиропе, С 80 до 75%;
X_4 - влажность сахара – песка,W 0,14 – 0,15 %;
X_5 - внешний вид агара, Вн;.
X_6 - цвет агара, Ц.

Выходные параметры:

Y_{1c} (X_{11}) - цвет готового сиропа, Ц;
Y_{2c} (X_{12}) - вкус готового сиропа, В;
Y_{3c} (X_{13}) - запах готового сиропа, З;
Y_{4c} (X_{14}) - массовая доля сухих веществ в готовом сиропе,W от 84,5 до 85 %.
Y_{5c} (X_{15}) – концентрация патоки в готовом сиропе, W от 5 до 25 %.

На рисунке 4.37 представлена разработанная СПМ процесса приготовления агаро- сахаро- паточного сиропа (АСПС).

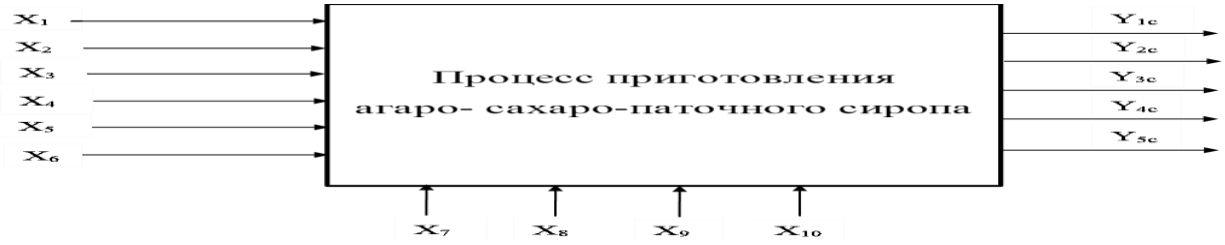


Рисунок 4.37 - СПМ процесса приготовления АСПС

Параметрическое моделирование процесса приготовления АСПС сводилось к построению матриц взаимосвязей (п.4.1.1.). На основании полученных результатов была спроектирована математическая модель процесса приготовления АСПС:

$$\begin{cases} Y_{1c}(X_{11}) = 0{,}26X_2 + 0{,}51X_3 + 0{,}39X_4 + 0{,}76X_5 + 0{,}84X_6 + 0{,}52X_7 + 0{,}48X_8 + 0{,}56X_9 + 0{,}45X_{10} \\ Y_{2c}(X_{12}) = 0{,}52X_2 + 0{,}72X_3 + 0{,}53X_4 + 0{,}36X_6 + 0{,}53X_7 + 0{,}47X_8 + 0{,}51X_9 + 0{,}36X_{10} \\ Y_{3c}(X_{13}) = 0{,}45X_2 + 0{,}38X_3 + 0{,}31X_4 + 0{,}47X_7 + 0{,}51X_8 + 0{,}56X_9 + 0{,}43X_{10} \\ Y_{4c}(X_{14}) = 0{,}68X_1 + 0{,}83X_3 + 0{,}85X_4 + 0{,}42X_7 + 0{,}55X_8 + 0{,}77X_9 + 0{,}63X_{10} \\ Y_{5c}(X_{15}) = 0{,}21X_2 + 0{,}62X_3 + 0{,}47X_4 + 0{,}46X_7 + 0{,}45X_8 + 0{,}68X_9 + 0{,}64X_{10} \end{cases} \quad (4.31)$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность, коэффициент множественной корреляции, критерий Стьюдента и критерий Фишера. Полученные результаты позволили сделать вывод об адекватности вышеприведённой математической модели.

Разработка СПММ ТП приготовления зефирной массы

Важный этапом производства зефира является ТП приготовления зефирной массы. Анализ полученных в 1 главе данных позволил установить:

Входные параметры:

X_{11} - цвет готового агаро-сахарно- паточного сиропа, Ц;
X_{12} - вкус готового агаро-сахарно- паточного сиропа, В;
X_{13} - запах готового агаро-сахарно- паточного сиропа, З;
X_{16} – температура сиропа, подаваемого на сбивание $t_{п.с.}$ от 105 до 109 °С;
X_{17} – вязкость подаваемого на сбивание сиропа, η, Па·с, от 9,0 Пас до 16 Па·с;;
X_{18} – давление пара перед началом сбивания Р, кПа, от 98 кПа до 117 кПа.
Режимные параметры:
X_{19} – время сбивания τ (от 15 до 20 минут)
X_{20} – температура смеси в процессе сбивания $t_{сб.}$ от 54 - 55°С;
X_{21} – температура воды в рубашке сбивальной машине $t_{х.в}$ от 8°С до 12°С;
X_{22} – давление, Р, кг/м^2 , от 425 – 450 кг/м^2;
Выходные параметры:
$Y_{1зм}$ (X_{24}) - цвет сбивной зефирной массы, Ц;

$Y_{2зм}$ (X_{25}) - вкус сбивной зефирной массы, В;
$Y_{3зм}$ (X_{26}) - запах сбивной зефирной массы, З;
$Y_{4зм}$ (X_{27}) - массовая доля сухих веществ в сбивной массе, W от 78 до 80 %;
$Y_{5зм}$ (X_{27}) – консистенция зефирной массы.

На рисунке 4.38 представлена структурно- параметрическая модель ТП приготовления сбивной зефирной массы.



Рисунок 4.38 - СПМ процесса приготовления сбивной зефирной массы

Параметрическое моделирование процесса приготовления сбивной зефирной массы сводилось к построению матриц взаимосвязей (п.4.1.1.). На основании полученных результатов была спроектирована математическая модель процесса приготовления сбивной зефирной массы:

$$\begin{cases} Y_{1зм}=0{,}94X_{11}+0{,}48X_{16}+0{,}35X_{17}+0{,}67X_{19}+0{,}61X_{20}+0{,}25X_{22}+0{,}52X_{23} \\ Y_{2зм}=0{,}92X_{12}+0{,}63X_{14}+0{,}58X_{15}+0{,}51X_{16}+0{,}74X_{17}+0{,}64X_{19}+0{,}47X_{20}+0{,}21X_{22}+0{,}52X_{23} \\ Y_{3зм}=0{,}95X_{13}+0{,}48X_{14}+0{,}51X_{15}+0{,}62X_{16}+0{,}73X_{17}+0{,}55X_{19}+0{,}49X_{20}+0{,}54X_{23} \\ Y_{4зм}=0{,}62X_{14}+0{,}58X_{15}+0{,}66X_{16}+0{,}83X_{17}+0{,}47X_{18}+0{,}63X_{19}-0{,}59X_{20}+0{,}52X_{22}-0{,}61X_{23} \\ Y_{5зм}=0{,}62X_{14}+0{,}68X_{15}+0{,}58X_{16}+0{,}93X_{17}-0{,}43X_{18}+0{,}64X_{19}+0{,}75X_{20}+0{,}28X_{21}+0{,}53X_{22}+0{,}51X_{23} \end{cases} \quad (4.32)$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность, коэффициент множественной корреляции, критерий Стьюдента и критерий Фишера. Полученные результаты позволили сделать вывод об адекватности вышеприведённой математической модели.

Разработка СПиММ процесса формования зефирной массы

Формование зефирной массы описано в 1 главе работы, п.1.2.6. «Анализ ТП производства зефира». Анализ полученных данных позволил установить:

Входные параметры:

X_{24} - цвет сбивной зефирной массы, Ц;

X_{25} - вкус сбивной зефирной массы, В;

X_{26} - запах сбивной зефирной массы, З;

X_{27} - массовая доля сухих веществ в сбивной массе, W от 78 до 80 %.

X_{28} - температура зефирной массы идущей на формование, t, (от 32 ^{0}С до 42 ^{0}С);

X_{29} - вязкость сбитой конфетной массы, μ, Па·с (от 4х10^{-2} Па·с; до 32х10^{-2} Па·с;);

Режимные параметры:

X_{30} - скорость выхода слоя из отверстия станции отсадки, V_m (от 9 до 15 мм/с);

X_{31} - скорость транспортерной ленты, Vтл, мм/с, (от 20 до 24,5 мм/с);

Выходные параметры:

$Y_{1з}$ (X_{32}) – форма полученных конфет зефира на выходе, h (от 0,8 до 1,2 мм);

$Y_{2з}$ (X_{33}) - вкус зефира после формования, В;

$Y_{3з}$ (X_{34}) - внешний вид поверхности зефира после формования, ВнВ;

$Y_{4з}$ (X_{35}) - цвет зефира после формования, Ц;

$Y_{5з}$ (X_{36}) – консистенция зефира.

На рисунке 4.32 представлена СПМ процесса формования зефира.



Рисунок 4.39 - СПМ процесса формования зефира

Параметрическое моделирование процесса формования зефира сводилось к построению матриц взаимосвязей (п.4.1.1.). На основании полученных результатов была спроектирована математическая модель этого процесса:

$$\left.\begin{aligned} Y_{1з} &= -0{,}65X_{27} - 0{,}63X_{28} + 0{,}77X_{29} - 0{,}42X_{30} + 0{,}37X_{31} \\ Y_{2з} &= 0{,}95X_{25} - 0{,}64X_{27} - 0{,}65X_{28} + 0{,}78X_{29} + 0{,}21X_{30} \\ Y_{3з} &= 0{,}62X_{24} + 0{,}77X_{27} + 0{,}61X_{28} + 0{,}79X_{29} - 0{,}52X_{30} - 0{,}36X_{31} \\ Y_{4з} &= 0{,}95X_{24} + 0{,}57X_{27} + 0{,}52X_{28} + 0{,}61X_{29} \\ Y_{5з} &= -0{,}77X_{27} + 0{,}65X_{28} + 0{,}92X_{29} - 0{,}33X_{30} - 0{,}22X_{31} \end{aligned}\right\} \quad (4.33)$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность, коэффициент множественной корреляции, критерий Стьюдента и критерий Фишера. Полученные результаты позволили сделать вывод об адекватности вышеприведённой математической модели.

Разработка СПиММ ТП структурообразования зефирной массы, подсушки половинок зефира и приготовления зефира

Следующим этапом производства зефира являются этапы структурообразования зефирной массы, подсушки половинок зефира и приготовления зефира. Данные процессы зависят от показателей качества формования зефирной массы. Анализ полученных данных позволил установить:

Входные параметры:

X_{32} – форма полученных половинок зефира после формования, Ф;
X_{33} - вкус зефира после формования, В;
X_{34} - внешний вид поверхности половинок зефира после формования, ВнВ;
X_{35} - цвет половинок зефира после формования, Ц;
X_{36} – консистенция зефира после формования, К;
X_{37} - температура массы при отсаживании, t, °С, не ниже 55°С;
X_{38} – температура зефира на входе в сушильную камеру, t, не выше 32°С;
Режимные параметры:
X_{39} – время структурообразования зефирной массы, отформованной в виде половинок зефира, τ , час. (3-4 час.);
X_{40} – время подсушивания половинок зефира, τ , час. , от 4 до 6 час.;

X_{41} – температура подсушивания половинок зефира, t, °С, от 27,5 до 30°С;
X_{42} - относительная влажность воздуха при подсушке, W, %, от 55 до 60 %;
X_{43} - температура сушки половинок зефира, t, °С, от 33 до 35°С;
X_{44} - относительная влажность воздуха при сушке, W, %, от 50 до 60 %;
X_{45} - содержание сухих веществ зефире после подсушки, W, %, от 77до 82%;
X_{46} - время сушки половинок зефира, τ , час. , от 5 до 6 час.;
Выходные параметры:
$Y_{1гз}$ (X_{47}) – температура готового зефира, t, °С;
$Y_{2гз}$ (X_{48}) – состояние поверхности, целостность зефира, П;
$Y_{3гз}$ (X_{49}) –цвет готового зефира, Ц;
$Y_{4гз}$ (X_{50}) – вкус готового зефира, В;
$Y_{5гз}$ (X_{51}) – запах готового зефира, З;
$Y_{6гз}$ (X_{52}) – консистенция готового зефира, К.

На рисунке 4.40 представлена разработанная СПМ структурообразования зефирной массы, подсушки половинок зефира и приготовления зефира.

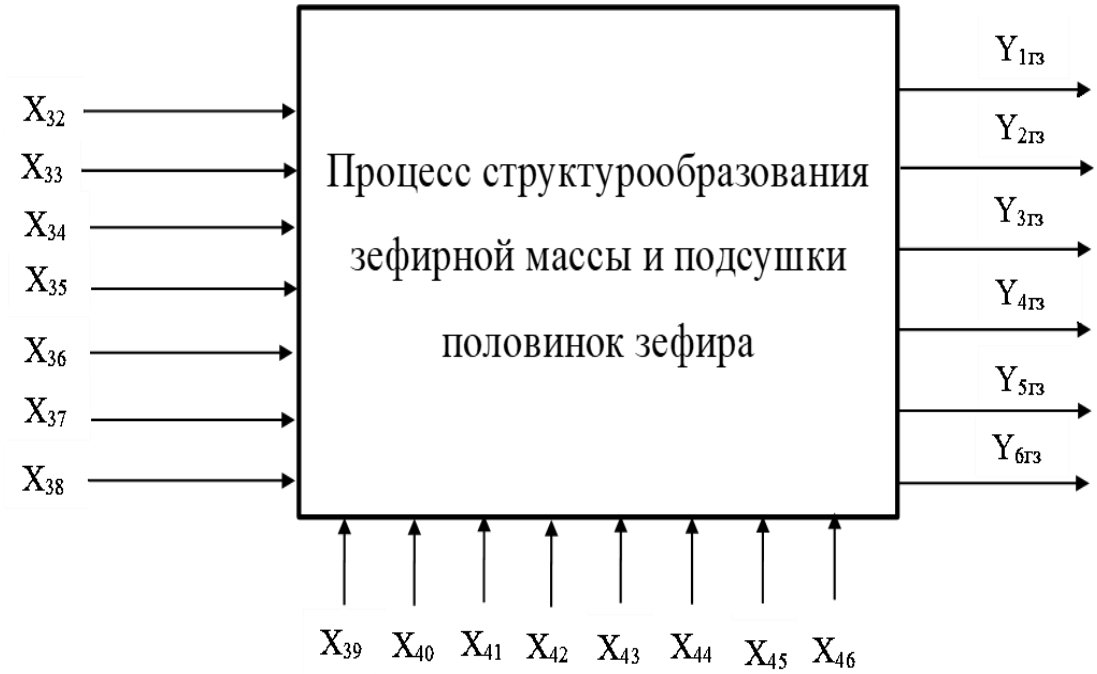


Рисунок 4.40 - СПМ процессов структурообразования зефирной массы, подсушки половинок зефира и приготовления зефира

Параметрическое моделирование процессов структурообразования зефирной массы, подсушки половинок зефира и приготовления зефира сводилось к построению матриц взаимосвязей (п.4.1.1.). На основании полученных результатов была спроектирована математическая модель этих процессов:

$$
\begin{cases}
Y_{1гз} = 0{,}46X_{36}+0{,}65X_{36}+0{,}68X_{37}+0{,}74X_{38}+0{,}57X_{39}+0{,}55X_{40} \\
+0{,}75X_{41}-0{,}37X_{42}+0{,}79X_{43}+0{,}38X_{44}+0{,}44X_{45}+0{,}87X_{46} \\
Y_{2гз} = 0{,}86X_{32}+0{,}85X_{34}+0{,}45X_{36}-0{,}54X_{37}-0{,}67X_{38}+0{,}71X_{39}+0{,}68X_{40} \\
+0{,}75X_{41}-0{,}37X_{42}+0{,}79X_{43}+0{,}38X_{44}-0{,}43X_{45}+0{,}87X_{46} \\
Y_{3гз} = 0{,}76X_{34}+0{,}93X_{35}+0{,}42X_{36}+0{,}65X_{37}+0{,}72X_{38}+0{,}47X_{39}+0{,}35X_{40} \\
+0{,}57X_{41}+0{,}37X_{42}+0{,}75X_{43}+0{,}41X_{44}+0{,}44X_{45}+0{,}57X_{46} \\
Y_{4гз} = 0{,}92X_{33}+0{,}54X_{36}+0{,}68X_{37}+0{,}71X_{38+}0{,}72X_{38}+0{,}47X_{39}+0{,}35X_{40} \\
+0{,}57X_{41}+0{,}39X_{42}+0{,}72X_{43}+0{,}41X_{44}+0{,}47X_{45}+0{,}61X_{46} \\
Y_{5гз} = 0{,}45X_{36}+0{,}49X_{37}+0{,}38X_{38}+0{,}55X_{39}+0{,}42X_{40} \\
+0{,}55X_{41}+0{,}37X_{42}+0{,}73X_{43}+0{,}41X_{44}+0{,}53X_{45}+0{,}67X_{46} \\
Y_{6гз} = 0{,}48X_{32}+0{,}96X_{36}+0{,}71X_{37}+0{,}72X_{38}+0{,}75X_{39}+0{,}62X_{40} \\
+0{,}65X_{41}+0{,}42X_{42}+0{,}73X_{43}+0{,}51X_{44}+0{,}67X_{45}+0{,}63X_{46}
\end{cases}
\qquad (4.34)
$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность, коэффициент множественной корреляции, критерий Стьюдента и критерий Фишера. Полученные результаты позволили сделать вывод об адекватности вышеприведённой математической модели.

4.1.8. Структурно – параметрические и математические модели ТП производства козинак

Исходным сырьем для получения козинак служат семена подсолнечника, а также сахар- песок и вода. Поэтому первым процессом, который подлежит анализу является процесс подготовки сырья (семян подсолнечника) к производству козинак. При этом подготовка сырья включает в себя разделение семян по геометрическим размерам на крупную и мелкую фракции, а также отделение примесей в процессе сепарирования.

Проведенные исследования позволили выявить:

Входные параметры:

X_1 - влажность семян подсолнечника (f) (13,5-14,5%);

X_2 - температура семян подсолнечника (t) (25-40°С);

X_3 - гранулометрический состав семян подсолнечника (ГС) (20-90 мк).

Режимные параметры:

X_4- относительная влажность воздуха (φ) (20-90%);

X_5 - расход воздуха при сепарировании (Р) (1200-1500 м3/т);

X_6 - частота колебаний сита при сепарировании (п) (2,5-5 об/мин)

Выходные параметры:

$Y_{1сп}$ (X_7) - выходной параметр - коэффициент извлечения примеси в семенах подсолнечника, характеризующий качество основного сырья, %;

$Y_{2сп}$ (X_8) - выходной параметр - внешний вид семян подсолнечника (размер, цвет, состояние поверхности, целостность).

На рисунке 4.41 представлена разработанная СПМ подготовки сырья к производству козинак.

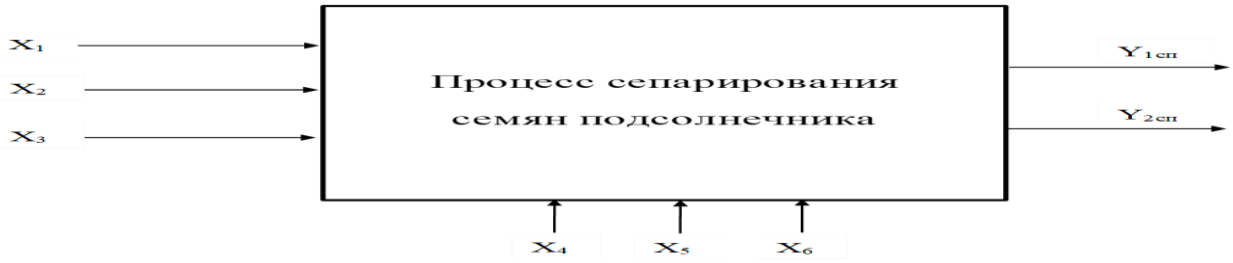


Рисунок 4.41 - СПМ процесса подготовки сырья

Параметрическое моделирование процесса подготовки сырья сводилось к построению матриц взаимосвязей (п.4.1.1.). На основании полученных результатов была выведена математическая модель процесса подготовки сырья:

$$\left.\begin{aligned} Y_{1сп} &= -0{,}72\,X_1 + 0{,}53\,X_2 - 0{,}81\,X_3 - 0{,}54\,X_4 + 0{,}78\,X_5 + 0{,}64\,X_6 \\ Y_{2сп} &= -0{,}62\,X_1 + 0{,}54\,X_3 + 0{,}56\,X_5 + 0{,}48\,X_6 \end{aligned}\right\} \quad (4.35)$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность (δ=1,1428), коэффициент множественной корреляции (R=0,92178), критерий Стьюдента (t_r=221,67>>2), критерий Фишера. Поэтому был сделан вывод об адекватности вышеприведённой математической модели, что позволило определить существенное влияние входных параметров на величину коэффициента извлечения примеси в семенах подсолнечника η и внешний вид семян подсолнечника при его подготовке к производству козинак.

Разработка СПиММ ТП приготовления сахарного сиропа

Проведенные исследования позволили выявить основные параметры, влияющие на процесс приготовления сахарного сиропа.

Основные входные, режимные и выходные параметры процесса:

X_9 - угол естественного откоса (для определения гранулометрического состава сахара – песка), град. 40 – 50;
X_{10} - активная кислотность pH ,от 6,0 до 7,5;
X_{11} - концентрация сахара в сиропе, С 80 до 75%;
X_{12} - влажность сахара – песка,W 0,14 – 0,15 %;
X_{13}- частота перемешивания, п 28 – 35 об/мин;
X_{14} - время перемешивания, τ 20 – 25 мин.;
X_{15} - температура сахарного сиропа, t, 90—95°С;
X_{16} - давление греющего пара в колонке, Р 0,34—0,4 Мпа;
$Y_{3ц}$ (X_{17}) - цвет сахарного сиропа, Ц;
$Y_{4в}$ (X_{18}) - вкус готового сахарного сиропа (величина кристаллов сахара в сахарном сиропе), В.

На рисунке 4.42 представлена СПМ ТП приготовления сахарного сиропа.

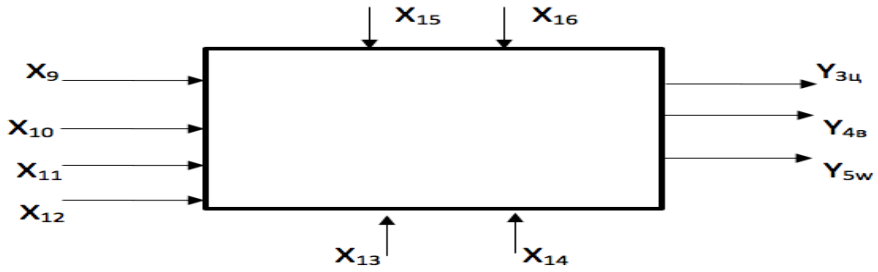


Рисунок - 4.42 - СПМ приготовления сахарного сиропа

Параметрическое моделирование процесса приготовления сахарного сиропа сводилось к построению матриц взаимосвязей по алгоритму, описанному в разделе п.4.1.1. На основании проведенных расчетов получена математическая модель процесса приготовления сахарного сиропа:

$$\left.\begin{aligned} Y_{3ц} &= 0{,}2\,X_{13} + 0{,}36\,X_{14} \\ Y_{4в} &= 0{,}09\,X_{13} - 0{,}46\,X_{15} - 0{,}53\,X_{16} \\ Y_{5w} &= 0{,}61\,X_{12} + 0{,}75\,X_{15} \end{aligned}\right\} \qquad (4.36)$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по относительной погрешности (δ=1,2114), коэффициенту множественной корреляции (R = 0,93087), критерию Стьюдента (tr=274,367>>2), критерию Фишера ($F_P >> F_T$). С

учётом результатов проведенных расчетов был сделан вывод об адекватности вышеприведённой математической модели.

Проведенные исследования позволили выявить основные параметры следующего этапа, влияющие на *процесс приготовления карамельного сиропа*.

На основании проведенных исследований этого процесса и расчетов полученных экспериментальных данных получена математическая модель качества карамельного сиропа:

$$\left.\begin{aligned} Y_{6кс} &= 0{,}36\ X_{22}+0{,}57\ X_{23}+0{,}51\ X_{26} \\ Y_{7кс} &= 0{,}75\ X_{25}+0{,}39\ X_{26} \end{aligned}\right\} \qquad (4.37)$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность (δ=1,0384), коэффициент множественной корреляции (R=0,92518), критерий Стьюдента (tr=241,38>>2), критерий Фишера (значение критерия Фишера расчетное оказалось больше теоретического показателя в ≈10 раз). С учётом вышеизложенного был сделан вывод об адекватности полученной математической модели.

Разработка СПиММ ТП вымешивания карамельной массы с семенами подсолнечника

Следующим этапом является процесс вымешивания карамельной массы с семенами подсолнечника. Проведенные исследования позволили выявить:

Основные входные и выходные параметры процесса:

X_{29} - объем поступающей карамельной массы,V (7,5-8 т/час);
X_{30} - температура поступающей карамельной массы, t (75-80 °С);
X_{31} - количество оборотов мешалки в смесителе, n (50-60 об/мин.);
X_{32} - температура воды в рубашке смесителя, t (40-50 °С);
X_{33} - влажность поступающей карамельной массы, W (60-70 %);
$Y_{8мк}$ (X_{34}) - температура полученной на выходе массы козинак, t от 90—95°С;
$Y_{9мк}$ (X_{35}) – влажность массы козинак после вымешивания, W (16– 18 %);
$Y_{10мк}$ (X_{36}) - цвет массы козинак после вымешивания, Ц;
$Y_{11мк}$ (X_{37}) - вкус массы козинак после вымешивания, Ц;

На рисунке 4.43 представлена *СПМ* ТП вымешивания массы козинак.



Рисунок 4.43 - СПМ процесса вымешивания массы козинак

Структурно-параметрическое моделирование процесса вымешивания массы козинак сводилось к построению матриц взаимосвязей по алгоритму, описанному в разделе п.4.1.1. На основании проведенных расчетов получена математическая модель процесса вымешивания массы козинак, подробно описанная в наших статьях [25 – 28]:

$$\left.\begin{aligned} Y_{8мк}(X_{34}) &= 0{,}61X_{29}+0{,}92X_{30}\ 0{,}67\ X_{31}+0{,}75\ X_{32}\ -0{,}57\ X_{33} \\ Y_{9мк}(X_{35}) &= 0{,}64X_{29}+0{,}75X_{30}\ 0{,}66\ X_{31}+0{,}46\ X_{32}\ +0{,}93\ X_{33} \\ Y_{10мк}(X_{36}) &= 0{,}21X_{29}+0{,}44X_{30}\ 0{,}55\ X_{31}+\ 0{,}58\ X_{33} \\ Y_{11мк}(X_{37}) &= 0{,}18X_{29}+0{,}64X_{30}\ 0{,}58\ X_{31}+\ 0{,}51\ X_{33} \end{aligned}\right\} \quad (4.38)$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность (δ=1,0538), коэффициент множественной корреяции (R=0,9356), критерий Стьюдента (tr=211,15>>2), критерий Фишера. С учётом имеющихся результатов был сделан вывод об адекватности полученной математической модели.

Разработка СПММ ТП формования конфет козинак

Полученная после вымешивания масса козинак далее поступает на формующую линию с туннелем охлаждения. Проведенные исследования позволили выявить основные параметры, влияющие на процесс формования козинак.

Основные входные и выходные параметры процесса:

X_{41} - скорость транспортерной ленты, Vтл мм/с, (20 - 24,5 мм/с);
X_{42} - температура охлаждения массы козинак, t (от 32 ºС до 42 ºС);
X_{43} - время охлаждения массы козинак, τ от 20 до 35 мин.;
$Y_{17к}(X_{44})$ - высота жгута козинак на выходе, h (от 0,8 до 1,2 мм);
$Y_{18к}(X_{45})$ - вкус готовых конфет козинак, В;
$Y_{19к}(X_{46})$ - цвет готовых конфет козинак, Ц.
$Y_{20к}(X_{47})$ - запах готовых конфет козинак, В;

$Y_{21к}$ (X_{48}) - форма готовых конфет козинак, В;
$Y_{22к}$ (X_{49}) - консистенция готовых конфет козинак, К;
$Y_{23к}$ (X_{50}) - влажность готовых конфет козинак, W, %.

На рисунке 4.44 представлена *СПМ* ТП формования конфет козинак.



Рисунок 4.44 - СПМ процесса формования конфет козинак

Структурно-параметрическое моделирование процесса формования конфет козинак сводилось к построению матриц взаимосвязей по алгоритму, описанному в разделе п.4.1.1. На основании проведенных расчетов получена математическая модель процесса формования конфет козинак:

$$\left.\begin{aligned}
&Y_{8мк}(X_{34})=0{,}54X_{38}+0{,}52X_{39}+0{,}66X_{40}+0{,}48X_{41}-0{,}69X_{42}\ 0{,}62X_{43}\\
&Y_{8мк}(X_{34})=0{,}67X_{38}+0{,}66X_{39}+0{,}32X_{40}+0{,}68X_{42}\ 0{,}62X_{43}\\
&Y_{8мк}(X_{34})=0{,}56X_{38}+0{,}53X_{39}+0{,}62X_{42}\ 0{,}51X_{43}\\
&Y_{8мк}(X_{34})=0{,}34X_{38}+0{,}41X_{39}+0{,}32X_{42}\ 0{,}27X_{43}\\
&Y_{8мк}(X_{34})=0{,}84X_{38}+0{,}82X_{39}+0{,}47X_{40}+0{,}41X_{41}-0{,}64X_{42}+0{,}62X_{43}\\
&Y_{8мк}(X_{34})=0{,}95X_{38}+0{,}67X_{39}+0{,}42X_{40}+0{,}25X_{41}-0{,}57X_{42}+0{,}78X_{43}\\
&Y_{8мк}(X_{34})=0{,}81X_{38}+0{,}74X_{39}+0{,}24X_{40}+0{,}15X_{41}-0{,}67X_{42}+0{,}72X_{43}
\end{aligned}\right\} \quad (4.39)$$

Проведенные исследования позволили определить влияние входных и режимных параметров на процесс формования. Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность (δ=1,1336), коэффициент множественной корреляции (R=0,9082), критерий Стьюдента (tr=209,17>>2), критерий Фишера. С учётом вышеизложенного был сделан вывод об адекватности полученной математической модели. Далее готовые конфеты козинак направляют на упаковку.

4.1.9. Структурно – параметрические и математические модели ТП производства драже

Основные стадии производства драже представлена в 1 главе, разделе 1.2.8. «Анализ ТП производства драже». Исходным сырьем для получения драже служит сахар- песок, вода и патока. Поэтому первым процессом, который подлежит анализу является процесс подготовки сырья (сахаро-паточного сиропа) к производству драже.

Разработка СПиММ ТП приготовления сахаро-паточного сиропа (поливочного сиропа для накатки)

Сахаро-паточный сироп получают при смешивании и нагревании в течение определенного времени сахара -песка, воды и патоки.

Основные входные параметры процесса:

X_1 - угол естественного откоса, град. 40 – 50;
X_2 - активная кислотность pH , от 4,6 до 7,5 в зависимости от сорта конфет;
X_3 - концентрация сахара в сиропе, С 80 до 75%;
X_4 - влажность сахара – песка,W 0,14 – 0,15 %;
X_5 - вязкость патоки, Вн;.
X_6 - вкус патоки, В;
X_7 - запах патоки, З;
X_8 - цвет патоки, Ц.

Выходные параметры:

Y_{1c} (X_{13}) - цвет готового сиропа, Ц;
Y_{2c} (X_{14}) - вкус готового сиропа, В;
Y_{3c} (X_{15}) - запах готового сиропа, З;
Y_{4c} (X_{16}) - массовая доля сухих веществ в готовом сиропе, W от 78 до 80 %.
Y_{5c} (X_{17}) – влажность.

Проведенные исследования позволили получить СПМ ТП приготовления сахаро-паточного сиропа (рисунок 4.45).

Структурно-параметрическое моделирование процесса приготовления сахаро-паточного сиропа сводилось к построению матриц взаимосвязей по алгоритму, описанному в разделе п.4.1.1.

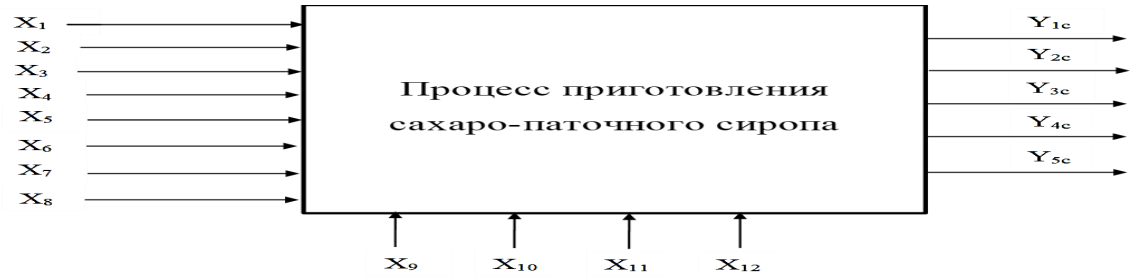


Рисунок 4.45 - СПМ ТП приготовления сахаро-паточного сиропа

На основании проведенных расчетов получена математическая модель ТП приготовления сахаро-паточного сиропа:

$$
\begin{cases}
Y_{1c}(X_{13}) = 0{,}25X_2 + 0{,}48X_3 + 0{,}37X_4 + 0{,}76X_5 + 0{,}82X_8 + 0{,}47X_9 + 0{,}55X_{10} + 0{,}42X_{11} + 0{,}36X_{12} \\
Y_{2c}(X_{14}) = 0{,}49X_2 + 0{,}52X_3 + 0{,}47X_4 + 0{,}91X_6 + 0{,}51X_9 + 0{,}52X_{10} + 0{,}33X_{11} + 0{,}28X_{12} \\
Y_{3c}(X_{15}) = 0{,}45X_2 + 0{,}38X_3 + 0{,}31X_4 + 0{,}94X_7 + 0{,}51X_9 + 0{,}48X_{10} + 0{,}56X_{11} + 0{,}22X_{12} \\
Y_{4c}(X_{16}) = 0{,}68X_1 + 0{,}34X_2 + 0{,}73X_3 + 0{,}72X_4 + 0{,}22X_8 + 0{,}36X_9 + 0{,}38X_{10} + 0{,}46X_{11} + 0{,}52X_{12} \\
Y_{5c}(X_{17}) = 0{,}21X_2 + 0{,}29X_3 + 0{,}46X_9 + 0{,}57X_{10} + 0{,}38X_{11} + 0{,}74X_{12}
\end{cases}
\qquad (4.40)
$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность, коэффициент множественной корреляции, критерий Стьюдента и критерий Фишера. Анализ полученных данных позволил сделать вывод об адекватности вышеприведённой математической модели (уравнения 4.50) реальному процессу.

Разработка СПиММ ТП накатки корпусов драже

Процесс накатки производят в дражировочных котлах.

Основные входные параметры процесса:

X_{16} - массовая доля сухих веществ в готовом сиропе, W от 78 до 80 %.

X_{17} – влажность готового поливочного сиропа, W, 22 - 24 %.

X_{18} – размер сахарного песка для создания корпуса драже, не менее 1 мм;

Режимные параметры:

X_{19} – температура поливочного сиропа, t, ^{0}C, от 45 до 50 ^{0}C;

X_{20} – время накатки в дражировочной машине, τ , 15 – 20 мин.;

X_{21} - температура нагрева дражировочной машины, t, °C, 75 – 85°C;

X_{22} –скорость вращения дражировочной машины, f, 46 об/мин.;
X_{23} – расход воздуха, Q, 0,5 м^3 /мин.
X_{24}- время выстойки после накатки, τ , 6 – 8 час.
Выходной параметр:
$Y_{6гп}$ (X_{25}) – объем накатки к массе корпуса драже, 10 – 12% ;
$Y_{7гп}$ (X_{26}) – объем готового полуфабриката, V, мм^3;

На рисунке 4.46 представлена разработанная СПМ ТП накатки корпусов драже.



Рисунок 4.46 - СПМ ТП накатки корпусов драже

Структурно-параметрическое моделирование накатки корпусов драже сводилось к построению матриц взаимосвязей по алгоритму, описанному в разделе п. 4.1.1. На основании проведенных расчетов получена математическая модель ТП накатки корпусов драже:

$$\left.\begin{aligned} Y_{6гп}(X_{25}) &= 0{,}78X_{16} + 0{,}83X_{17} + 0{,}92X_{18} + 0{,}72X_{19} + 0{,}69X_{20} + 0{,}74X_{21} \\ &+ 0{,}65X_{22} + 0{,}56X_{23} + 0{,}75X_{24} \\ Y_{7гп}(X_{26}) &= 0{,}74X_{16} + 0{,}85X_{17} + 0{,}92X_{18} + 0{,}69X_{19} + 0{,}65X_{20} + 0{,}62X_{21} \\ &+ 0{,}58X_{22} + 0{,}52X_{23} + 0{,}77X_{24} \end{aligned}\right\} \quad (4.41)$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность (δ=1,1248), коэффициент множественной корреляции (R=0,9124), критерий Стьюдента (tr=211,17>>2), критерий Фишера. Анализ полученных данных позволил сделать вывод об адекватности вышеприведённой математической модели реальному процессу.

Разработка СПММ ТП глянцевания и сушки драже

Глянцевание и сушка драже являются важнейшими этапами его производства. Цель глянцевания состоит в придании драже ровной, гладкой и окрашенной поверхности. Проведенные исследования позволили выявить:

Основные входные параметры процесса:
X_{26} – объем готового полуфабриката драже, V, мм^3;
X_{27} – влажность поливочного сиропа, W, 17 – 18 %;
X_{28} – температура готового полуфабриката драже, t, ^{0}C, от 20 до 25 ^{0}C;
Режимные параметры:
X_{29} – температура поливочного сиропа, t, ^{0}C, от 70 до 80 ^{0}C;
X_{30} - продолжительность глянцевания, τ , 20 – 30 мин.;
X_{31} - температура нагрева глянцовочного барабана, t, °C, 75 – 85°C;
X_{32} –скорость вращения глянцовочного барабана, f, 24 – 28 об/мин.;
X_{33} – расход воздуха, Q, 0,5 м^3 /мин.
X_{34} - температура в цехе, t, ^{0}C, от 18 до 22 ^{0}C;
X_{35} - влажность воздуха в цехе, W, 58 - 62 %.
X_{36}- время сушки готового драже, τ, в течение 20 – 24 ч.
Выходное параметры:
$Y_{8гд}$ (X_{37}) – размеры готового драже, V, мм^3;
$Y_{9гд}$ (X_{38}) - содержание влаги в драже, W, 0,3 – 5,0 %;
$Y_{10гд}$ (X_{39}) –форма готового драже, Ф;
$Y_{11гд}$ (X_{40}) –вкус готового драже, В;
$Y_{12гд}$ (X_{41}) – аромат готового драже, З;
$Y_{13гд}$ (X_{42}) – цвет готового драже, Ц;
$Y_{14гд}$ (X_{43}) – состояние поверхности.

Проведенные нами исследования позволили получить СПМ ТП глянцевания и сушки драже (рисунок 4.47).

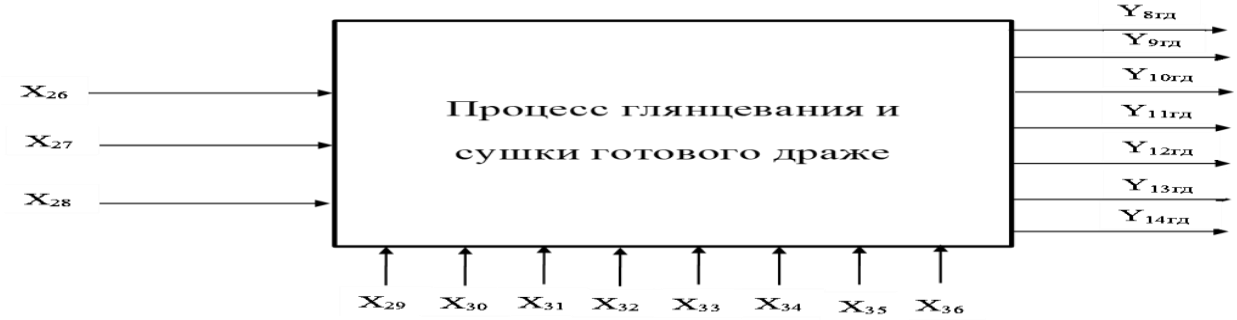


Рисунок 4.47 - СПМ ТП глянцевания и сушки драже

Структурно-параметрическое моделирование глянцевания и сушки драже сводилось к построению матриц взаимосвязей по алгоритму, описанному в раз-

деле п.4.1.1. На основании проведенных расчетов получена математическая модель ТП глянцевания и сушки драже:

$$
\begin{cases}
Y_{8гд}(X_{37}) = 0{,}94X_{26} + 0{,}72X_{27} + 0{,}63X_{28} + 0{,}67X_{29} + 0{,}59X_{30} + 0{,}61X_{31} \\
\quad + 0{,}64X_{32} + 0{,}45X_{33} + 0{,}35X_{34} + 0{,}36X_{35} - 0{,}73X_{36} \\
Y_{9гд}(X_{37}) = 0{,}75X_{26} + 0{,}81X_{27} + 0{,}73X_{28} + 0{,}69X_{29} + 0{,}61X_{30} + 0{,}58X_{31} \\
\quad + 0{,}57X_{32} + 0{,}55X_{33} + 0{,}36X_{34} + 0{,}34X_{35} - 0{,}68X_{36} \\
Y_{10гд}(X_{37}) = 0{,}74X_{26} + 0{,}73X_{27} + 0{,}67X_{28} + 0{,}69X_{29} + 0{,}75X_{30} + 0{,}66X_{31} \\
\quad + 0{,}61X_{32} + 0{,}52X_{33} + 0{,}35X_{34} + 0{,}36X_{35} + 0{,}76X_{36} \\
Y_{11гд}(X_{37}) = 0{,}67X_{27} + 0{,}62X_{28} + 0{,}63X_{29} + 0{,}49X_{30} + 0{,}44X_{31} \\
\quad + 0{,}45X_{32} + 0{,}55X_{36} \\
Y_{12гд}(X_{37}) = 0{,}43X_{27} + 0{,}46X_{28} + 0{,}42X_{29} + 0{,}39X_{30} + 0{,}41X_{31} \\
\quad + 0{,}36X_{32} + 0{,}45X_{36} \\
Y_{13гд}(X_{37}) = 0{,}63X_{27} + 0{,}62X_{28} + 0{,}64X_{29} + 0{,}74X_{30} + 0{,}61X_{31} \\
\quad + 0{,}57X_{32} + 0{,}51X_{33} + 0{,}72X_{36} \\
Y_{14гд}(X_{37}) = 0{,}38X_{26} + 0{,}63X_{27} + 0{,}72X_{28} + 0{,}75X_{29} + 0{,}92X_{30} + 0{,}75X_{31} \\
\quad + 0{,}74X_{32} + 0{,}62X_{33} + 0{,}56X_{34} + 0{,}58X_{35} + 0{,}71X_{36}
\end{cases}
\qquad (4.42)
$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность (δ=1,1152), коэффициент множественной корреляции (R=0,8912), критерий Стьюдента (tr=186,17>>2), критерий Фишера. Анализ полученных данных позволил сделать вывод об адекватности вышеприведённой математической модели реальному процессу.

4.1.10. Структурно – параметрические и математические модели ТП производства ириса

Основные стадии производства ириса показаны в 1 главе, п. 1.2.9. «Анализ ТП производства ириса». Исходя из данной схемы первым процессом, который подлежит анализу является ТП приготовления рецептурной смеси.

Разработка СПиММ ТП приготовления рецептурной смеси

Исходным сырьем для получения наиболее распространенного молочного ириса служит сахарный песок, вода, патока, молочные продукты и жир.

Основные входные параметры процесса:

X_1 - угол естественного откоса, град. 40 – 50;

X_2 - активная кислотность pH сахара песка, от 4,6 до 7,5;
X_3 - концентрация сахара в сиропе, С 80 до 75%;
X_4 - влажность сахара – песка, W, 0,14 – 0,15 %;
X_5 - вязкость патоки, μ, Па·с (от $2x10^{-2}$ Па·с до $28x10^{-2}$ Па·с);
X_6 - жирность молока, Ж, %, не менее 2,8 %;
X_7 - титруемая кислотность молока, 20-21;
X_8 - вязкость расплавленного жира, μ, Па·с;
Режимные параметры:
X_{13} - время томления, τ, 30 – 40 мин.;
X_{14} - температура рецептурной смеси при томлении, t, 75—80°С;
Выходные параметры:
Y_{1pc} (X_{15}) - температура рецептурной смеси на выходе, t, 45—55°С;
Y_{2pc} (X_{16}) – содержания сухих веществ, W, около 78%;
Y_{3pc} (X_{17}) – влажность готовой рецептурной смеси, W от 20,0 до 22,0 %;
Y_{4pc} (X_{18}) – цвет рецептурной смеси, Ц;
Y_{5pc} (X_{19}) – запах рецептурной смеси, З.

Проведенные нами исследования позволили получить СПМ ТП приготовления рецептурной смеси (рисунок 4.48).



Рисунок 4.48 - СПМ ТП приготовления рецептурной смеси

Структурно-параметрическое моделирование ТП приготовления рецептурной смеси сводилось к построению матриц взаимосвязей по алгоритму, описанному в разделе п.4.1.1. На основании проведенных расчетов получена математическая модель ТП приготовления рецептурной смеси:

$$
\begin{cases}
Y_{1pc}(X_{15}) = 0{,}56X_1+0{,}37X_3+0{,}56X_4+0{,}57X_5+0{,}52X_6+0{,}58X_8+0{,}66X_9 \\
0{,}62X_{10}+0{,}91X_{11}+0{,}45X_{12}+0{,}56X_{13}+0{,}88X_{14} \\
Y_{2pc}(X_{16}) = 0{,}56X_1+0{,}69X_3+0{,}77X_4 +0{,}74X_5 + 0{,}67X_6 +0{,}68X_8 \\
0{,}65X_9 +0{,}62X_{10}+0{,}67X_{11}+0{,}43X_{12}+0{,}56X_{13}+0{,}43X_{14} \\
Y_{3pc}(X_{17}) = 0{,}38X_1+0{,}51X_2+0{,}39X_3+0{,}76X_4 +0{,}84X_5 + 0{,}52X_6 +0{,}48X_7 \\
+ 0{,}56X_8 + 0{,}45X_9 +0{,}31X_{10}+0{,}47X_{11}+0{,}51X_{12}+0{,}43X_{13}+0{,}52X_{14} \\
Y_{4pc}(X_{18}) = 0{,}51X_2+0{,}39X_3+0{,}36X_4 +0{,}44X_5 + 0{,}56X_6 +0{,}52X_7 \\
+ 0{,}66X_8 + 0{,}47X_9 +0{,}41X_{10}+0{,}64X_{11}+0{,}58X_{13}+0{,}57X_{14} \\
Y_{5pc}(X_{19}) = 0{,}42X_2+0{,}47X_3+0{,}36X_4 +0{,}54X_5 + 0{,}55X_6 +0{,}43X_7 \\
+ 0{,}63X_8 + 0{,}52X_9 +0{,}53X_{10}+0{,}72X_{11}+0{,}58X_{13}+0{,}73X_{14}
\end{cases}
\qquad (4.43)
$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность (δ=1,0875), коэффициент множественной корреляции (R=0,8892), критерий Стьюдента (tr=179,17>>2), критерий Фишера.

Анализ полученных данных позволил сделать вывод об адекватности вышеприведённой математической модели реальному процессу.

Разработка СПиММ ТП приготовления ирисной массы – уваривание и охлаждение

Важным этапом производства ириса является ТП приготовления ирисной массы.

Входные параметры:

X_{15} - температура рецептурной смеси на выходе, t, 45—55°С;
X_{16} – содержания сухих веществ, W, около 78%;
X_{17} – влажность готовой рецептурной смеси, W от 20,0 до 22,0 %;
X_{18} – цвет рецептурной смеси, Ц;
X_{19} – запах рецептурной смеси, З.

Режимные параметры:

X_{20} – время процесса перемешивания τ (от 7 до 10 минут)
X_{21} – температура процесса перемешивания $t_{сб.}$ от 90°С до 100 °С;
X_{22} – время процесса уваривания τ (от 20 до 25 минут)
X_{23} – температура процесса уваривания, $t_{у.}$ от 90°С до 100 °С;
X_{24} – частота вращения мешалки п (от 0,35 1/с до 0,65 1/с).
X_{25} – давление пара в варочном аппарате Р (от 98 кПа до 120 кПа).
X_{26} – время процесса охлаждения τ (от 20 до 25 минут)
X_{27} – температура процесса охлаждения, $t_{о.}$, °С, 40 - 45 °С;

Выходные параметры:

$Y_{1им}$ (X_{28}) - цвет ирисной массы, Ц;

$Y_{2им}$ (X_{29}) - вкус ирисной массы, В;

$Y_{3им}$ (X_{30}) - запах ирисной массы а, З;

$Y_{4им}$ (X_{31}) – влажность ирисной массы, W, %, 6 - 9 %;

$Y_{5им}$ (X_{32}) - вязкость карамельной массы, η ;

$Y_{6им}$ (X_{33}) –температура ирисной массы после уваривания, $t_{им}$ от 112 - 115 °С;

$Y_{7им}$ (X_{34}) –температура ирисной массы после охдаждения, $t_{им}$ от 40 - 45 °С;

На основании полученных данных была спроектирована СПМ ТП приготовления ирисной массы, представленная на рисунке 4.49.



Рисунок 4.49 - СПМ процесса приготовления ирисной массы

Структурно-параметрическое моделирование ТП приготовления ирисной массы сводилось к построению матриц взаимосвязей по алгоритму, описанному в разделе п.4.1.1. На основании проведенных расчетов получена математическая модель ТП приготовления ирисной массы:

$$\begin{cases} Y_{1им}=0{,}42X_{15}+0{,}54X_{16}+0{,}59X_{17}+0{,}53X_{18}+0{,}63X_{20}+0{,}61X_{21}+0{,}65X_{22} \\ +0{,}78X_{23}+0{,}45X_{24}+0{,}38X_{25}+0{,}56X_{26}+0{,}52X_{27} \\ Y_{2им}=0{,}55X_{15}+0{,}57X_{16}+0{,}63X_{17}+0{,}49X_{19}+0{,}68X_{20}+0{,}66X_{21}+0{,}76X_{22} \\ +0{,}82X_{23}+0{,}53X_{24}+0{,}54X_{26}+0{,}58X_{27} \\ Y_{3им}=0{,}56X_{15}+0{,}34X_{16}+0{,}52X_{17}+0{,}93X_{19}+0{,}54X_{20}+0{,}55X_{21} \\ +0{,}82X_{22}+0{,}83X_{23}+0{,}46X_{24}+0{,}63X_{26}+0{,}66X_{27} \\ Y_{4им}=0{,}72X_{15}+0{,}77X_{16}++0{,}52X_{17}+0{,}93X_{19}+0{,}54X_{20}+0{,}55X_{21} \\ +0{,}82X_{22}+0{,}83X_{23}+0{,}46X_{24}+0{,}63X_{26}+0{,}66X_{27} \end{cases} \quad (4.44)$$

$$Y_{5им}=0,72X_{15}+0,76X_{16}+ +0,72X_{17}+0,66X_{20}+0,65X_{21} + 0,83X_{22} +0,85X_{23} +0,57X_{24}+0,68X_{26}+0,69X_{27}$$

$$Y_{6им}=0,72X_{15}+0,67X_{16} +0,62X_{17}+0,64X_{20}+0,82X_{21} + 0,84X_{22} +0,83X_{23} +0,56X_{24}+0,45X_{25} +0,83X_{26}+0,93X_{27}$$

$$Y_{7им}=0,70X_{15}+0,65X_{16} +0,62X_{17}+0,64X_{20}+0,75X_{21} + 0,78X_{22} +0,84X_{23} +0,55X_{24}+0,93X_{26}+0,96X_{27}$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность (δ=1,0852), коэффициент множественной корреляции (R=0,8912), критерий Стьюдента (tr=198,27>>2), критерий Фишера. Анализ полученных данных позволил сделать вывод об адекватности вышеприведённой математической модели реальному процессу.

Разработка СПиММ ТП формования и обработки ирисной массы

Следующим важным этаповявляется процесс формования и обработки ирисной массы, который зависит от качества приготовленной ирисной смеси, ТП формования и обработки ирисной массы.

Входные параметры:

X_{28} - цвет ирисной массы, Ц;
X_{29} - вкус ирисной массы, В;
X_{30} - запах ирисной массы а, З;
X_{31} – влажность ирисной массы, W, %, 6 - 9 %;
X_{32} - вязкость карамельной массы, η ;
X_{36}-высота жгута слоя ирисной массы после обкаточной машины, h, 8 - 12 мм;
X_{37} – температура охлаждения карамели, t, °С;
X_{38} – время охлаждения, τ, мин. (зависит от сорта ириса);
X_{39} – время обработки массы на проминальном транспортере, τ, мин.

Выходные параметры:

$Y_{1ги}$ (X_{40}) – консистенция готового ириса, К;
$Y_{2ги}$ (X_{41}) –температура готового ириса, t, °С;
$Y_{3ги}$ (X_{42}) – цвет готового ириса, Ц;
$Y_{4ги}$ (X_{43}) – вкус готового ириса, В;
$Y_{5ги}$ (X_{44}) – запах готового ириса, З;
$Y_{6ги}$ (X_{45}) –форма готового ириса, Ф;
$Y_{7ги}$ (X_{46}) –состояние поверхности, СП.

На основании полученных данных была спроектирована СПМ ТП формования и обработки ирисной массы, представленная на рисунке 4.50.



Рисунок 4.50 - СПМ процессов формования и обработки ирисной массы

Структурно-параметрическое моделирование процессов формования и обработки ирисной массы сводилось к построению матриц взаимосвязей по алгоритму, описанному в разделе п.4.1.1. На основании проведенных расчетов получена математическая модель ТП процессов формования и обработки ирисной массы:

$$\begin{cases} Y_{1им} = -0{,}89X_{31} + 0{,}94X_{32} + 0{,}67X_{33} + 0{,}36X_{34} + 0{,}68X_{36} + 0{,}62X_{37} + 0{,}73X_{38} + 0{,}76X_{39} \\ Y_{2им} = -0{,}58X_{31} + 0{,}69X_{32} + 0{,}95X_{33} + 0{,}66X_{36} + 0{,}96X_{37} + 0{,}93X_{38} + 0{,}68X_{39} \\ Y_{3им} = 0{,}92X_{28} + 0{,}57X_{31} + 0{,}61X_{32} + 0{,}56X_{33} + 0{,}52X_{37} + 0{,}53X_{38} + 0{,}58X_{39} \\ Y_{4им} = 0{,}97X_{29} + 0{,}61X_{31} + 0{,}63X_{32} + 0{,}66X_{33} + 0{,}33X_{36} + 0{,}54X_{37} + +0{,}55X_{38} + 0{,}77X_{39} \\ Y_{5им} = 0{,}94X_{30} + 0{,}51X_{31} + 0{,}57X_{32} + 0{,}61X_{33} + 0{,}43X_{36} + 0{,}62X_{37} + 0{,}57X_{38} + 0{,}72X_{39} \\ Y_{6им} = 0{,}71X_{31} + 0{,}75X_{32} + 0{,}69X_{33} + 0{,}64X_{34} + 0{,}62X_{35} + 0{,}58X_{36} + 0{,}68X_{37} + 0{,}66X_{38} + 0{,}74X_{39} \\ Y_{7им} = 0{,}73X_{31} + 0{,}78X_{32} + 0{,}72X_{33} + 0{,}69X_{34} + 0{,}65X_{35} + 0{,}63X_{36} + 0{,}71X_{37} + 0{,}68X_{38} + 0{,}82X_{39} \end{cases} \quad (4.45)$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность (δ=1,0983), коэффициент множественной корреляции (R=0,9162), критерий Стьюдента (tr=187,17>>2), критерий Фишера.

Анализ полученных данных позволил сделать вывод об адекватности вышеприведённой математической модели реальному процессу.

4.2.Ситуационное моделирование ТП производства кондитерской продукции

4.2.1. Анализ ТП производства кондитерской продукции с использованием матрицы экспертных оценок влияния входных параметров на показатели качества на всех стадиях производства

Для решения задачи автоматизации управления качеством производства кондитерской продукции необходимо наличие не только структурно- параметрических и математических моделей кондитерской продукции (раздел 4.1, подразделы 4.1.2 – 4.1.10), но и создание ситуационных моделей ТП этих производств. Ситуационная матричная модель дает возможность проследить в процессе производства причинно -следственные влияния параметров друг на друга, а также их влияние на показатели качества готовой продукции [126].

На основе структурно-параметрических матриц сопоставимых взаимосвязей $C_{i,j}$, где i,j=1, …, n , и вектора контролируемых отклонений показателей состояния Δx_i формируется ситуационная модель [61] технологического процесса (ситуационная матрица):

$$\begin{Vmatrix} \Delta x_1, & c_{12}\Delta x_2, & ..., & c_{1n}\Delta x_n \\ c_{21}\Delta x_1, & \Delta x_2, & ..., & c_{2n}\Delta x_n \\ ..., & ..., & ..., & ... \\ c_{n1}\Delta x_1, & c_{n2}\Delta x_2, & ..., & \Delta x_4 \end{Vmatrix} \qquad (4.46)$$

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

x_i, x_j^0 – фактическое и эталонное значение i-го параметра;

Δx_i^0 – предельно допустимое отклонение от нормы.

Предлагаемая процедура диагноза сводится 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 заключается в определении аномального состояния системы при изменении какого-либо параметра или группы параметров процесса.

Разработка таких ситуационных моделей (СМ) позволяет наглядно изучить влияние входных контролируемых и регулируемых параметров, возмущающих воздействий на исследуемые выходные показатели качества, а также дает возможность прогнозировать ход исследуемых ТП и определять необходимые при этом режимы работы используемого оборудования.

В таблицах экспертных оценок представлены результаты опроса экспертов-технологов на информативность параметров, оказывающих наибольшее влияние на показатели качества сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции на всех стадиях производства.

На основании полученных результатов были отобраны наиболее информативные параметры качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий всех исследуемых ТП производства кондитерской продукции, и составлены таблицы взаимосвязей между ними для каждой стадии исследуемого производства. Получены основные параметры (режимные и технологические), оказывающие наибольшее влияние на ТП кондитерской продукции. Анализ полученных данных позволил получить ситуационные модели (СМ) процессов производства кондитерских изделий.

Подробно проведенные исследования по разработке ситуационных моделей ТП кондитерских производств описаны и проанализированы в работах [25 – 27, 60, 61].

4.2.2. Анализ ТП производства халвы с использованием матрицы экспертных оценок влияния входных параметров на показатели качества халвы на всех стадиях производства

Для анализа представленных в 1 главе исследований производства халвы (п.1.2.3) были отобраны наиболее информативные параметры состояния ТП производства халвы и составлены матрицы взаимосвязей между ними для каждой стадии этого производства.

В таблицах 4.1 - 4.6 в виде матриц экспертных оценок представлены результаты опроса экспертов на информативность параметров, оказывающих наибольшее влияние на показатели качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукци на всех стадиях ТП производства халвы. Символом (●) обозначено наличие, по мнению экспертов, функциональной связи между входными и выходными переменными. На основании полученных результатов были отобраны наиболее информативные параметры качества сырья, полуфабрикатов и готовых конфет халвы и составлены таблицы взаимосвязей между ними для каждой стадии исследуемого производства. Подробнее данные исследования описаны в статьях [25, 27, 60, 61].

Для разработки ситуационной модели процесса подготовки сырья к производству халвы были проведены экспериментальные исследования этого технологического процесса. Экспертные группы опытных специалистов кондитерских фабрик выявили наиболее важные входные параметры процесса сепарирования семян подсолнечника. Это:

- влажность семян подсолнечника X_1 (f) (13,5-14,5%);
- температура семян подсолнечника X_2(t) (25-40°С);
- гранулометрический состав семян подсолнечника X_3 (ГС) (20-90 мк);
- относительная влажность воздуха X_4 (φ) (20-90%);
- расход воздуха при сепарировании X_5 (Р) (1200-1500 м3/т);
- частота колебаний сита при сепарировании X_6 (п) (2,5-5 об/мин);
- выходной параметр - коэффициент извлечения примеси в семенах подсолнечника, характеризующий качество основного сырья, Y_1 (X_7) , %;

- выходной параметр - внешний вид семян подсолнечника (размер, цвет, состояние поверхности, целостность), Y_2 (X_8).

В таблице 4.1 показаны результаты опроса экспертов-технологов по оценке влияния входных параметров на этап подготовки сырья к производству халвы. В ней символом (•) обозначено наличие функциональной связи между входными и выходными переменными.

Таблица 4.1

Матрица экспертных оценок связей между параметрами на стадии ***подготовки сырья к производству халвы***

	X1	**X2**	**X3**	**X4**	**X5**	**X6**	**X7**	**X8**	**X9**	**X10**
X1	**1**									
X2		**1**								
X3			**1**							
X4		•		**1**						
X5	•				**1**					
X6	•		•			**1**				
X7			•		•		**1**			
X8			•		•	•		**1**		
X9									**1**	
X10							•	•		**1**

Результаты опроса экспертов-технологов по оценке влияния входных параметров на процессы приготовления сахарного сиропа

Основные входные и выходные параметры процесса:

- угол естественного откоса, X_9 , град. 40 – 50;
- активная кислотность pH X_{10} ,от 6,0 до 7,5;
- концентрация сахара в сиропе, X_{11} , С 80 до 75%;
- влажность сахара – песка, X_{12} ,W 0,14 – 0,15 %;
- частота перемешивания, X_{13} ,п 28 – 35 об/мин;
- время перемешивания, X_{14} ,τ 20 – 25 мин.;
- температура сахарного сиропа, X_{15} , t 90—95°С;
- давление греющего пара в колонке, X_{16}, Р 0,34—0,4 Мпа;
- цвет сахарного сиропа Y_{3cc} (X_{17});

- вкус готового сахарного сиропа (величина кристаллов сахара в сахарном сиропе) Y_{4cc} (X_{18}) ,В (от 50 до 90 мкм);
- массовая доля сухих веществ, Y_{5cc} (X_{19}) ,W от 78 до 80 %.

В таблице 4.2 показаны результаты опроса экспертов-технологов по оценке влияния входных параметров на процессы приготовления сахарного сиропа. В ней символом (•) обозначено наличие функциональной связи между входными и выходными переменными.

Таблица 4.2

Матрица экспертных оценок связей между параметрами на стадии ***процесса приготовления сахарного сиропа***

	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19
X11	1								
X12		1							
X13	•		1						
X14				1					
X15	•	•			1				
X16		•	•			1			
X17							1		
X18	•				•			1	
X19				•	•	•		•	1

Результаты опроса экспертов-технологов по оценке влияния входных параметров на этап на процессы приготовления карамельного сиропа

Основные входные и выходные параметры процесса:

- массовая доля сухих веществ, X_{20} ,W от 78 до 80 %;
- температура сахарного сиропа X_{21}, t от 90—95°С;
- массовая доля сухих веществ X_{22} , С от 74 до 80%;
- вязкость сахарного сиропа, X_{23} ,м от 13 до 20 Пас;
- давление греющего пара в рубашке варочной станции X_{24} , P_1, 392 - 499 кПа;
- давление внутри варочной станции X_{25} , P_2 от 98 до 105 кПа;
- время уваривания X_{26} , τ 30—40 мин.;
- цвет карамельного сиропа Y_6 (X_{27});
- вкус готового карамельного сиропа: величина кристаллов сахара в карамельном сиропе Y_7 (X_{28}) (от 40 до 80 мкм).

В таблице 4.3 показаны результаты опроса экспертов-технологов по оценке влияния входных параметров на этап на процессы приготовления карамельного

сиропа. В ней символом (•) обозначено наличие функциональной связи между входными и выходными переменными.

Таблица 4.3

Матрица экспертных оценок связей между параметрами на стадии процесса приготовления карамельного сиропа

	X20	X21	X22	X23	X24	X25	X26	X27	X28	X28	X28	X27	X28
X20	1												
X21		1											
X22			1										
X23	•		•	1									
X24	•				1								
X25	•	•			•	1							
X26	•	•					1						
X27							•	1					
X28				•	•				1				
X29										1			
X30	•	•	•			•	•				1		
X31	•	•				•	•			•	•	1	
X32	•	•								•	•		1

Результаты опроса экспертов-технологов по оценке влияния входных параметров на процессы уваривания и сбивания карамельной массы

Основные входные и выходные параметры процесса:

- температура карамельного сиропа, X_{29}, $t_{к.с.}$ от 105 до 109 °С;
- вязкость карамельного сиропа X_{30}, η (от 9,0 Пас до 16 Пас);
- массовая доля влаги карамельного сиропа X_{31}, W (от 15% до 19%);
- плотность карамельного сиропа X_{32}, ρ (от 730 до 770 кг/м^3);
- давление пара перед началом сбивания X_{33}, Р (от 98 кПа до 117 кПа);
- время сбивания X_{34}, τ (от 7 до 10 минут);
- температура процесса сбивания X_{35}, $t_{сб.}$ от 90°С до 100 °С;
- температура воды в сбивальной машине X_{36}, $t_{х.в}$ от 8°С до 12°С;
- частота вращения сбивальных лопастей X_{37}, п (от 0,35 1/с до 0,65 1/с);
- влажность готовой карамельной массы, Y_8 (X_{38}),W от 14 до 16 %;
- температура на выходе карамельного сиропа Y_9 (X_{39}), t от 90—95°С;
- вязкость полученного карамельного сиропа Y_{10} (X_{40}), м от 12 до 16 Пас;
- цвет карамельного сиропа после сбивания Y_{11} (X_{41});
- величина кристаллов сахара в карамельном сиропе Y_{12} (X_{42}), 30 - 70 мкм.

В таблице 4.4 показаны результаты опроса экспертов-технологов по оценке влияния входных параметров на процессы уваривания и сбивания карамельной массы. В ней символом (•) обозначено наличие функциональной связи между входными и выходными переменными.

Таблица 4.4

Матрица экспертных оценок связей между параметрами процессов уваривания и сбивания карамельной массы

	X33	X34	X35	X36	X37	X38	X39	X40	X41
X33	1								
X34		1							
X35	•		1						
X36	•		•	1					
X37	•	•			1				
X38	•	•			•	1			
X39	•	•					1		
X40				•			•	1	
X41	•	•		•	•			•	1

Результаты опроса экспертов-технологов по оценке влияния входных параметров на процессы вымешивания халвы

Основные входные и выходные параметры процесса:

- объем поступающей карамельной массы X_{43},V (7,5-8 т/час);
- температура поступающей карамельной массы X_{44}, t (75-80 ^{o}C);
- количество оборотов мешалки в темперирующей машине X_{45}, n, 50-60 об./мин.;
- температура воды в рубашке темперирующей машины X_{46}, t (40-50 ^{o}C);
- влажность поступающей взбитой массы X_{47} , W (60-70 %);
- температура полученной на выходе массы халвы Y_9 (X_{48}), t от 90—95°C;
- доля сухих веществ в массе халвы Y_{10} (X_{49}), W (16–18 %);
- цвет массы халвы после вымешивания Y_{11} (X_{50}), Ц;
- величина кристаллов сахара в массе халвы Y_{12} (X_{51}), v (от 30 до 70 мкм).

В таблице 4.5 показаны результаты опроса экспертов-технологов по оценке влияния входных параметров на процесса вымешивания халвы. В ней символом (•) обозначено наличие функциональной связи между входными и выходными переменными.

Таблица 4.5

Матрица экспертных оценок связей между параметрами процесса вымешивания халвы

	X42	X43	X44	X45	X46	X47	X48
X42	1						
X43	•	1					
X44			1				
X45	•		•	1			
X46	•				1		
X47	•	•			•	1	
X48		•			•	•	1

Результаты опроса экспертов-технологов по оценке влияния входных параметров на процессы формования халвы

Основные входные и выходные параметры процесса:

- скорость выхода массы из матричного отверстия X_{52}, Vm (от 9 до 15 мм/с);
- реологические свойства халвы X_{53}, μ (от $4x10^{-2}$ Пас до $32x10^{-2}$Пас);
- температура халвы, поступающей на формование X_{54}, t (от 32 C^0до 42 C^0);
- скорость транспортерной ленты при проведении эксперимента была постоянной X_{55}, Vтл - 22,7 мм/с, (может меняться от 20 до 24,5 мм/с).
- высота жгута халвы на выходе Y_{17} (X_{56})-, h (от 0,8 до 1,2 мм);
- вкус халвы Y_{18} (X_{57}), S от 30 до 70 мкм;
- цвет полученной халвы Y_{19} (X_{58}), Ц.

В таблице 4.6 показаны результаты опроса экспертов-технологов по оценке влияния входных параметров на процессы формования халвы. В ней символом (•) обозначено наличие функциональной связи между входными и выходными переменными.

Таблица 4.6

Матрица экспертных оценок связей между параметрами процесса формования халвы

	X48	X49	X50	X51	X52	X53	X54	X55	X56
X48	1								
X49	•	1							
X50	•	•	1						
X51	•		•	1					
X52	•				1				
X53	•	•	•		•	1			

X54	•	•		•		•	1		
X55				•		•		1	
X56		•			•	•			1

Таким образом, на основе опроса технологов- экспертов, были получены данные для разработки ситуационной модели ТП производства халвы.

4.2.3. Ситуационное моделирование ТП производства халвы

Данные экспериментального исследования ТП производства халвы (раздел 4.1.2) были сравнены с данными, полученными в результате опроса экспертов. В таблице 4.7 представлена разработанная матрица экспертных оценок наличия связей между параметрами на отдельных участках производства халвы, где числовые значения, записанные обычным курсивом показывают характер связей («+» - показывают нахождение новых связей, а символ (∅) означает опровержение оценок эксперта).

Таблица 4.7

Ситуационная модель ТП производства халвы

Основные стадии ТП производства халвы		Подготовка сырья к производству		Приготовления сахарного сиропа			Приготовления карамельного сиропа		Уваривание и сбивание карамельной массы					Вымешивание халвы				Формование халвы		
	Выходные параметры	Y_1 (X_7)	Y_2 (X_8)	Y_3 (X_{17})	Y_4 (X_{18})	Y_5 (X_{19})	Y_6 (X_{27})	Y_7 (X_{28})	Y_8 (X_{38})	Y_9 (X_{39})	Y_{10} (X_{40})	Y_{11} (X_{41})	Y_{12} (X_{42})	Y_{13} (X_{48})	Y_{14} (X_{49})	Y_{15} (X_{50})	Y_{16} (X_{51})	Y_{17} (X_{56})	Y_{18} (X_{57})	Y_{19} (X_{58})
1. Подготовка сырья к производству	Y_1 (X_7) - % извл. прим	1																		
	Y_2 (X_8) вн. вид	∅	1																	
П. Приготовления сахарного сиропа	Y_3 (X_{17}) цвет	⊙	∅	1																
	Y_4 (X_{18}) вкус			∅	1															
	Y_5 (X_{19}) влажность	⊕	⊙	⊕	⊙	1														
Ш. Приготовления карамельного сиропа	Y_6 (X_{27}) цвет	⊙	⊕	⊕	⊙	⊙	1													
	Y_7 (X_{28}) вкус	⊙	⊙	⊕	⊙	⊙	⊕	1												
IУ. Уваривание и сбивание карамельной массы	Y_8 (X_{38}) влажность кар.м.	⊙	⊕	⊕	⊙	⊕	∅	⊕	1											
	Y_9 (X_{39}) Т						∅	⊙	⊙	1										
	Y_{10} (X_{40}) вязкость							⊙	∅	⊕	1									
	Y_{11} (X_{41}) цвет							⊕	⊕	⊙	⊙	1								
	Y_{12} (X_{42}) вкус	⊙	⊙	⊕	⊙	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊙	∅	1							
У. Вымешивание халвы	Y_{13} (X_{48}) температура	⊙	⊕	⊕	⊙	⊙	⊕	⊙	⊕	⊙		⊕	⊙	1						
	Y_{14} (X_{49}) влажность	⊕	⊙	⊙	⊙	⊕	⊕		⊙	⊙	⊙	⊙	⊕	⊙	1					
	Y_{15} (X_{50}) цвет	⊙	⊙	∅	⊙	⊕	⊕	⊙					⊕	∅	⊕	1				
	Y_{16} (X_{51}) вкус	⊙	⊙	⊕	⊙	∅	⊕								⊙	⊕	1			
У1. Формование халвы	Y_{17} (X_{56}) высота халвы	⊙	⊕	⊕	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	∅	⊙	⊙	⊙	1		
	Y_{18} (X_{57}) вкус	⊙	⊕	⊙	⊕	⊙	⊕	⊙	⊕	⊕	⊙	⊙	⊕	⊕	⊕	⊙	⊕	⊕	1	
	Y_{19} (X_{58}) цвет	⊙	⊙	⊕	⊙	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	∅	⊕	⊙	⊕	1

Предлагаемая процедура прогнозирования сводилась к нахождению причин, повлекших за собой отклонение ТП от нормального, путем 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.

4.2.4. Ситуационное моделирование ТП производства шоколада

Полученные данные экспериментального исследования ТП производства шоколада (4 глава, раздел 4.1, п. 4.1.3) были сравнены с данными, полученными в результате опроса экспертов. В таблице 4.8 представлены полученные результаты. Символом (•) обозначено наличие функциональной связи между входными и выходными переменными; знак «+» - показывает нахождение новых связей, а символ (∅) означает опровержение оценок эксперта.

Обозначены следующие основные этапы приготовления плиточного шоколада:

1. ТП хранения какао бобов

$Y_{1кб}$ (X_{11}) - выходной параметр - влажность какао бобов ($W_{к.б.}$) (7,5-14,5%);
$Y_{2кб}$ (X_{12}) - выходной параметр - массовая доля жира (Жк.б.) (45-50 %);
$Y_{3кб}$ (X_{13}) - выходной параметр - индекс качества (ИК) (84 – 100%).

2. ТП очистки и сортировки какао бобов

$Y_{4кб}$ (X_{20}) - выходной параметр - коэффициент извлечения примеси в какао бобах, характеризующий качество основного сырья, ɳ (0, 84 – 1,0%);
$Y_{5кб}$ (X_{21}) - выходной параметр - внешний вид какао бобов (размер, цвет, состояние поверхности, целостность), (Вн.В).

3. ТП обжарки какао бобов (КБ)

$Y_{6кб}$ (X_{29}) – температура какао бобов на выходе из аппарата обжарки, t, °С;
$Y_{7кб}$ (X_{30}) - внешний вид какао бобов, (Вн.В).

4. ТП охлаждения КБ

$Y_{8кб}$ (X_{33}) – температура какао бобов на выходе из аппарата охлаждения, t, °С;
$Y_{9кб}$ (X_{34}) - внешний вид какао бобов на выходе из аппарата охлаждения (размер, цвет, состояние поверхности, целостность), (Вн.В).

5. ТП дробления какао бобов с получением какао крупки и какаовеллы

$Y_{10кк}$ (X_{41}) - выход какао-крупки (Q) не менее 87% обжаренных какао-бобов/
$Y_{11кк}$ (X_{42}) - выходной параметр – размер кусочков какао бобов (v) 0,75 до 8 мм.

6. ТП размола какао крупки с получением какао тертого

$Y_{12кт}$ (X_{50}) – вязкость какао тертого ($\mu_{кт}$),;
$Y_{13кт}$ (X_{51}) – дисперсность какао тертого $D_{кт}$.

7. ТП прессования какао тертого с получением какао масла
$Y_{14км}$ (X_{57}) – количество отжатого какао масла Q, кг.

Таблица 4.8

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

Основные стадии ТП производства шоколада		I			II		Ш		1У		У		У1		УП	УШ			1Х			Х	Х1				
	Вых. Пар.	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																					
Ш. ТП обжарки к.б.	$Y_{6\,кб}$	⊙	⊕		⊙	⊙	1																				
	$Y_{7\,кб}$	⊙	⊙	⊕	⊕	⊙	⊙	1																			
1У ТП охлаждения к.б.	$Y_{8\,кб}$	⊙	∅		⊙	⊙	⊙	∅	1																		
	$Y_{9\,кб}$	⊕	⊙	⊕	∅	⊙	⊕	⊙	∅	1																	
У ТП дробления к.б.	$Y_{10\,кб}$	⊙	⊕	⊕	⊙	∅	⊙	⊕	⊙	∅	1																
	$Y_{11\,кб}$	⊕	⊙	⊙	⊕	⊙	⊕	⊙	⊕	⊙	∅	1															
У1 ТП получение какао тертого	$Y_{12\,кТ}$	⊙	∅	⊙	⊕	⊙	⊙	∅	⊙	∅	⊙	⊙	1														
	$Y_{13кт}$	∅	⊙	⊕	∅	⊙	∅	⊙	∅	⊙	⊙	⊙	⊙	1													
УП ТП получения к.масла	$Y_{14\,км}$	∅	⊙	⊙	∅	⊙	∅	⊙	∅	⊙	⊙	⊕	⊙	⊙	1												
УШ. ТП смешивания	$Y_{15с}$	⊙	⊙	⊙	⊕	⊙		⊕			⊙	⊕	⊙	⊙	⊙	1											
	$Y_{16с}$	⊙	⊙	∅	⊕	⊙		⊕			⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	1										
	$Y_{17\,шм}$	⊙	⊕	⊕	⊙	⊙		⊙		⊙	⊙	⊕	⊕	⊙	⊙	⊕	⊙	1									
Х1. ТП разводки, гомогенизации и конширования ш. м.	$Y_{18\,шм}$	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	∅		∅		⊙	⊕	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	1								
	$Y_{19\,шм}$	∅	⊙	∅		⊕		⊕				⊕	⊙	⊙	⊕	⊙	⊙	⊕	⊙	1							
	$Y_{20\,шм}$	∅	⊕	∅		⊕		⊕				⊙	⊕	⊕	⊕		⊙	⊕			1						
Х. ТП темперирования ш.м.	$Y_{21\,ш}$	⊕	⊙	⊙	⊕	⊙		⊙		⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	∅		1					
Х1. ТП формования плиток шоколада	$Y_{22\,ш}$	⊕	⊙	∅	⊕	⊕		⊙		⊙		∅	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙		⊙	⊙	1				
	$Y_{23\,ш}$	∅	⊕	∅			∅		∅					∅	⊕		⊙	⊕		⊙	⊕		∅	1			
	$Y_{24\,ш}$	⊙	⊕	⊙	⊙	⊙		⊙		⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙			⊙		⊙	1		
	$Y_{25\,ш}$	⊙	⊙	⊕	⊕								⊙	⊙	⊕	⊙	⊙	⊙	⊙			⊙				1	
	$Y_{26\,ш}$	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙		⊙		⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙			⊙	⊕	⊕	⊙	⊙	1

8. ТП смешивания какао тертого с какао маслом и сахарной пудрой

$Y_{15см.}(X_{67})$ – вязкость полученной смеси, $\mu_{см}$, Па с
$Y_{16см.}(X_{68})$ – массовая доля жира, Ж, % (24 – 30%);
$Y_{17см.}$ (X_{69}) – дисперсность полученной смеси, $D_{см}$, мкм (не более 35 – 20 мкм).

9. ТП разводки, гомогенизации и конширования шоколадной массы

$Y_{18шм.}(X_{76})$ – вязкость полученной шоколадной массы, $\mu_{см}$, Па·с;
$Y_{19шм.}(X_{77})$ – вкус полученной шоколадной массы, В;
$Y_{20шм.}$ (X_{78}) – аромат полученной шоколадной массы, З.

10. ТП темперирования шоколадной массы

$Y_{21тшм}$ (X_{82}) – конечная вязкость полученной шоколадной массы при температуре 32 °С, μсм , Па·с.

11 ТП формования плиток шоколада

$Y_{22ш}$ (X_{87}) – вкус, В
$Y_{23ш}$ (X_{88}) – запах, З
$Y_{24ш}$ (X_{89}) – внешний вид, ВнВ
$Y_{25ш}$ (X_{90}) – форма, Ф
$Y_{26ш}$ (X_{91}) – консистенция, К

Полученные результаты дают возможность проследить причинно - следственные влияния параметров друг на друга и на показатели качества готовых плиток шоколада с формализацией алгоритмов диагностики и прогнозирования состояний ТП и качества готовой продукции, полуфабрикатов и сырья на каждой стадии ТП этого производства.

Элементы главной диагонали матрицы (итоговая таблица 4.8) отображают текущее отклонение наблюдаемых факторов от заданных значений, а недиагональные – составляющие их отклонения с упорядочиванием по строкам всех причин отклонения, а по столбцам возможные следственные влияния на другие параметры.

4.2.5. Ситуационное моделирование ТП производства сбивных конфет

ТП производства сбивных конфет» (4 глава, раздел 4.1, п. 4.1.4) были сравнены с данными, полученными в результате опроса экспертов. В таблице 4.9 представлена разработанная ситуационная модель ТП производства сбивных

конфет (обобщенная СП матрица функциональных взаимосвязей показателей качества сбивных конфет), где символом (•) обозначено наличие функциональной связи между входными и выходными переменными; знак «+» - показывает нахождение новых связей, а символ (∅) означает опровержение оценок эксперта.

Таблица 4.9

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

Основные стадии ТП пр-ва сбивных конфет		I					II				III					IY		Y					
	Выходные параметры	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11	Y12	Y13	Y14	Y15	Y16	Y17	Y18	Y19	Y20	Y21	Y22
1. ТП приготовления сырья к пр-ву сбивных конфет	Y1c	1																					
	Y2c		1																				
	Y3c			1																			
	Y4c	⌀	⌀	⊙	1																		
2 ТП приготовления сбивной массы	Y5c	⊙	⊙	⊙	⊙	1																	
	Y6см	⊙			⊙	⊙	1																
	Y7см		⊙	⊕	⊕	⊙		1															
	Y8см				⊙	⊙		⌀	1														
3 ТП формирования сбивного слоя конфет	Y9см	⊕	⌀	⊕	⊙	⊙		⊙	⊙	1													
	Y10ф				⊙	⊙				⊙	1												
	Y11ф		⊙		⊕	⊙		⊙		⊙		1											
	Y12ф	⊙			⊕	⊙		⌀	⊙			⊙	1										
	Y13ф	⊙			⌀	⊙	⊙			⊙	⊙			1									
	Y14ф	⌀	⊙	⊙	⊙	⊙				⊙	⊙		⊙		1								
4 ТП охлаждения	Y15ох	⊙	⊙	⊙	⊕	⊙		⊕	⊙	⊙	⊙	⊕	⊙	⊙	⊙	1							
	Y'16ох				⊕	⊙	⊙			⊙	⊙		⊙	⊙	⊙	⊙	1						
5 ТП глазирования корпусов сбивных конфет	Y17кк		⊕		⊙	⊙		⊙		⊙	⊙				⊙	⊙	⊙	1					
	Y18кк	⊙				⌀	⊙			⊙					⊙	⊙	⊙		1				
	Y19кк				⊙	⊕	⊙			⊙	⊙	⊕		⊙	⊕					1			
	Y20кк				⊙	⊕				⊙	⊙		⊕		⊕	⊙	⊙				1		
	Y21кк				⊕	⊙				⊙	⊙		⊙					⊙	⊙	⌀		1	
	Y22кк				⊕	⊕				⊙	⊙		⊙		⊙	⊙	⊙	⊙	⊙		⊙	⊙	1

В таблице обозначены следующие основные этапы приготовления сбивных конфет:

1. ТП приготовления сырья (агаро-сахаро-паточного или пектино - сахаро-паточного сиропов) к производству сбивных конфет

Y_{1c} (X_{13}) - цвет готового сиропа, Ц;
Y_{2c} (X_{14}) - вкус готового сиропа, В;
Y_{3c} (X_{15}) - запах готового сиропа, З;
Y_{4c} (X_{16}) - массовая доля сухих веществ в готовом сиропе,W от 78 до 80 %.

$Y_{5с}$ (X_{17}) – концентрация патоки в готовом сиропе, W от 5 до 25 %.

2. ТП приготовления сбивной конфетной массы

$Y_{6см}$ (X_{24}) - цвет сбитой массы, Ц;
$Y_{7см}$ (X_{25}) - вкус сбитой массы, В;
$Y_{8см}$ (X_{26}) - запах сбитой массы, З;
$Y_{9см}$ (X_{27}) - массовая доля сухих веществ в сбитой массе, W от 78 до 80 %.

3. ТП формования сбивного слоя конфет

$Y_{10ф}$ (X_{32}) - высота жгута сбивного слоя конфет;
$Y_{11ф}$ (X_{33}) - вкус сбивного слоя конфет после формования, В;
$Y_{12ф}$ (X_{34}) - внешний вид сбивного слоя конфет после формования, ВнВ;
$Y_{13ф}$ (X_{35}) - цвет сбивного слоя конфет после формования, Ц;
$Y_{14ф}$ (X_{36}) – консистенция сбивного слоя конфет после формования, К;

4. ТП охлаждения и выстойки корпусов сбивных конфет

$Y_{15ох}$ (X_{40}) – температура корпусов сбивных конфет на выходе из холодильного тоннеля, t, °С;
$Y_{16\ ох}$ (X_{41}) - внешний вид сбивных конфет на выходе из холодильного тоннеля, (Вн.В).

5. ТП глазирования корпусов сбивных конфет

$Y_{17гк}$ (X_{44}) – вкус сбивных конфет, В;
$Y_{18гк}$ (X_{45}) – цвет поверхности сбивных конфет, глазированных шоколадной глазурью, Ц
$Y_{19гк}$ (X_{46}) - запах, З;
$Y_{20гк}$ (X_{47}) - форма сбивных конфет, глазированных шоколадной глазурью, Ф;
$Y_{21гк}$ (X_{48}) – состояние поверхности сбивных конфет, глазированных шоколадной глазурью, уровень блеска, Б;
$Y_{22гк}$ (X_{49}) – консистенция, К.

Полученные результаты (таблица 4.9) дают возможность проследить причинно - следственные влияния параметров друг на друга и на показатели качества готовых сбивных конфет с прогнозированием состояний ТП и качества готовых конфет, полуфабрикатов и сырья на каждой стадии ТП этого производства. Элементы главной диагонали матрицы отображают текущее отклонение

наблюдаемых факторов от заданных значений, а недиагональные – составляющие их отклонения с упорядочиванием по строкам всех причин отклонения, а по столбцам возможные следственные влияния на другие параметры.

4.2.6. Ситуационное моделирование ТП производства мармелада

Результаты экспериментальных данных ТП производства мармелада (п.4.1.5) были сравнены с данными, полученными в результате опроса экспертов.

В таблице 4.10 представлены полученные результаты. Символом (•) обозначено наличие функциональной связи между входными и выходными переменными; знак «+» - показывает нахождение новых связей, а символ (∅) означает опровержение оценок эксперта.

Таблица 4.10

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

Основные стадии ТП пр-ва мармелада		I					II								III		IУ						
	Вых. параметр	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}
1. ТП приготовления ПСП сиропа	Y_{1c}	1																					
	Y_{2c}		1																				
	Y_{3c}			1																			
	Y_{4c}	⊙	∅	⊙	1																		
	Y_{5c}	∅	⊙	⊙	⊙	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							
IУ. ТП формования мармелада.	$Y_{16ох}$		⊙	∅	⊕	⊙		⊕			⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	1						
	$Y_{17гх}$			⊕		⊙				⊙	⊙	⊕	⊕	⊙	⊙	⊕		1					
	$Y_{18гх}$	⊙		⊙	⊙	⊙	∅		∅		⊙	⊕	⊙	⊙	⊙	⊙			1				
	$Y_{19гх}$			∅	⊙	⊕					⊙		⊙	⊙	⊕	⊙			⊙	1			
	$Y_{20гх}$			∅	⊙	⊕					⊙		⊕	⊕	⊕	⊙				⊙	1		
	$Y_{21гх}$	⊕	⊙	⊙	⊕	⊙		⊙		⊙	⊙		⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	1	

В таблице обозначены следующие основные этапы приготовления мармелада:

1. ТП приготовления пектино- сахаро- паточный сиропа
$Y_{1с}$ (X_{13}) - цвет готового сиропа, Ц;
$Y_{2с}$ (X_{14}) - вкус готового сиропа, В;
$Y_{3с}$ (X_{15}) - запах готового сиропа, З;
$Y_{4с}$ (X_{16}) - массовая доля сухих веществ в готовом сиропе,W от 78 до 80 %.
$Y_{5с}$ (X_{17}) – концентрация патоки в готовом сиропе, W от 5 до 25 %.

2. ТП приготовления мармеладной массы
Выходные параметры:
$Y_{6мм}$ (X_{24}) - цвет мармеладной массы, Ц;
$Y_{7мм}$ (X_{25}) - вкус мармеладной массы, В;
$Y_{8мм}$ (X_{26}) - запах мармеладной массы а, З;
$Y_{9мм}$ (X_{27}) - массовая доля сухих веществ в сбитой массе, W (от 78 до 80 %).
$Y_{10\ мм}$ (X_{28}) - вязкость мармеладной массы, η ;
$Y_{11\ им}$ (X_{29}) - pH мармеладной массы на выходе, (3.1 – 3,2);
$Y_{12\ мм}$ (X_{30}) – температура мармеладной массы на выходе, $t_{\ мм}$ (от 106 - 107 °С);
$Y_{13\ мм}$ (X_{31}) – W, (30—32 %).
3. ТП темперирования мармеладной массы

$Y_{14т}$ (X_{35}) – конечная вязкость мармеладной массы, $\mu_{мм}$, Па·с.
$Y_{15т}$ (X_{36}) – температура мармеладной массы, t, °С.

4. ТП формования мармелада
$Y_{16ф}$ (X_{41}) – вкус готового мармелада, В;
$Y_{17ф}$ (X_{42}) – запах готового мармелада, З;
$Y_{18ф}$ (X_{43}) – цвет готового мармелада, Ц;
$Y_{19ф}$ (X_{44}) – форма готового мармелада, Ф;
$Y_{20ф}$ (X_{45}) – поверхность готового мармелада, П;
$Y_{21ф}$ (X_{46}) – консистенция готового мармелада, К.
$Y_{22ф}$ (X_{47}) – температура готового мармелада, t, °С.

Полученные данные дают возможность проследить причинно - следственные влияния параметров друг на друга и на показатели качества готового мармелада с формализацией алгоритмов диагностики и прогнозирования состояний ТП и качества готовой продукции, полуфабрикатов и сырья на каждой стадии ТП этого производства. Элементы главной диагонали матрицы

(итоговая таблица 4.10) отображают текущее отклонение наблюдаемых факторов от заданных значений, а недиагональные – составляющие их отклонения с упорядочиванием по строкам всех причин отклонения, а по столбцам - возможные следственные влияния на другие параметры.

4.2.7. Ситуационное моделирование ТП производства карамели

Полученные данные экспериментального исследования ТП производства карамели (раздел 4.1.6) были сравнены с данными, полученными в результате опроса экспертов. В таблице 4.11 представлена разработанная ситуационная модель ТП производства карамели, где символом (●) обозначено наличие функциональной связи между входными и выходными переменными; знак «+» - показывает нахождение новых связей, а символ (∅) означает опровержение оценок эксперта.

Таблица 4.11

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

Основные стадии ТП пр-ва сбивных конфет		I					II							III					IY					
	Выходные параметры	Y_1	Y_2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11	Y12	Y13	Y14	Y15	Y16	Y17	Y18	Y19	Y20	Y21	Y22	Y23
1. ТП приготовления сырья СП сиропа	Y1с	I																						
	Y2с		1																					
	Y3с			I																				
	Y4с	⊕	ø	⊙	I																			
	Y5с	ø	⊙	⊙	⊙	I																		
2 ТП приготовления карамельной массы уваривания	Y6см	⊙			⊙	⊙	1																	
	Y7см		⊙		⊕	⊙		1																
	Y8см			⊙	⊕	⊙			1															
	Y9см	⊕	⊙	⊕	⊙	⊙	ø	⊙	ø	I														
	Y10ф	⊙	⊕	⊕	⊙	⊙	⊙	⊕	⊙	⊙	I													
	Y11ф	⊕	⊙	⊙		⊙		⊙	⊕			I												
	Y12ф	⊙	⊙	⊙	⊕	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊕	I											
3. ТП охлаждения и обработки карамельной массы	Y13ф	⊕	⊙	⊕	⊙	⊙	ø	⊙		⊙	⊙		⊙	I										
	Y14ф	⊕	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊕	⊙	⊙	I									
	Y15ох	⊙	⊙			⊙	⊙			⊙	⊙	⊕	⊙	⊙	⊙	I								
	Y'16ох		⊙			⊙		⊙		⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙		I							
	Y17к			⊙		⊙			⊙	⊙	⊙	⊕	⊕	ø	ø			I						
4. ТП формирования и охлаждение карамельного массы	Y18к		⊙			⊙		⊙		⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙		⊙		I					
	Y19к			⊙		⊙			⊙	ø		⊕	⊙	⊙	⊙			⊙		I				
	Y20к	⊙				⊕	⊙			⊙			⊙	⊙	⊙	⊙					I			
	Y21к	ø			⊙	⊕				⊙	⊙		⊕	⊕	⊕							I		
	Y22к	⊕	⊙	⊙	⊕	⊙		⊙		⊙	⊙		⊙	⊙	⊙		⊙		⊙		⊙	⊙	I	
	Y23к	⊙	⊙	⊙	⊕	⊕	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	ø	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	I

В таблице обозначены следующие основные этапы приготовления карамели:

1. ТП приготовления сахаро-паточного сиропа
$Y_{1с}$ (X_{13}) - цвет готового сиропа, Ц;
$Y_{2с}$ (X_{14}) - вкус готового сиропа, В;
$Y_{3с}$ (X_{15}) - запах готового сиропа, З;
$Y_{4с}$ (X_{16}) - массовая доля сухих веществ в готовом сиропе,W от 78 до 80 %.
$Y_{5с}$ (X_{17}) – концентрация патоки в готовом сиропе, W от 5 до 25 %.

2. ТП приготовления карамельной массы – уваривание карамельной массы
$Y_{6км}$ (X_{24}) - цвет карамельной массы, Ц;
$Y_{7км}$ (X_{25}) - вкус карамельной массы, В;
$Y_{8км}$ (X_{26}) - запах карамельной массы а, З;
$Y_{9км}$ (X_{27}) – влажность карамельной массы, W (от 1,5 до 4 %).
$Y_{10км}$ (X_{28}) - вязкость карамельной массы, η ;
$Y_{11км}$ (X_{29}) - pH карамельной массы на выходе, (3.1 – 3,2);
$Y_{12км}$ (X_{30}) – температура карамельной массы на выходе, $t_{мм}$ (от 106 - 107 °С).

3. ТП охлаждения и обработки карамельной массы
$Y_{13ох}$ (X_{34}) – конечная вязкость карамельной массы, $\mu_{мм}$, Па·с.
$Y_{14ох}$ (X_{35}) – температура карамельной массы, t, °С;
$Y_{15ох}$ (X_{36}) – цвет карамельной массы, Ц;
$Y_{16ох}$ (X_{37}) – вкус карамельной массы, В;
$Y_{17ох}$ (X_{38}) – запах карамельной массы, З;

4. ТП формования и охлаждения карамели
$Y_{18к}$ (X_{44}) – вкус готовой карамели, В;
$Y_{19к}$ (X_{45}) – запах готовой карамели, З;
$Y_{20к}$ (X_{46}) – цвет готовой карамели, Ц;
$Y_{21к}$ (X_{47}) – форма готовой карамели, Ф;
$Y_{22к}$ (X_{48}) – консистенция готовой карамели, К.
$Y_{23к}$ (X_{49}) – температура готовой карамели, t, °С;

Полученные результаты дают возможность проследить причинно - следственные влияния параметров друг на друга и на показатели качества готовых конфет карамели с формализацией алгоритмов диагностики и прогнозирования состояний ТП и качества готовой продукции, полуфабрикатов и сырья на каждой стадии ТП этого производства. Элементы главной диагонали матрицы

(итоговая таблица 4.11) отображают текущее отклонение наблюдаемых факторов от заданных значений, а недиагональные – составляющие их отклонения с упорядочиванием по строкам всех причин отклонения, а по столбцам - возможные следственные влияния на другие параметры.

4.2.8. Ситуационное моделирование ТП производства зефира

Полученные данные экспериментального исследования ТП производства зефира (раздел 4.1.7) были сравнены с данными, полученными в результате опроса экспертов. В таблице 4.12 представлена ситуационная модель производства зефира, где символом (•) обозначено наличие функциональной связи между входными и выходными переменными; знак «+» - показывает нахождение новых связей, а символ (∅) означает опровержение оценок эксперта.

Таблица 4.12

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

Основные стадии ТП пр-ва зефира		I					II					III					IУ					
	Вых. параметр	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						
IУ. ТП структурообразования и приготовления зефира.	$Y_{16гз}$	⊙	⊙	∅	⊕	⊙	⊙	⊕	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	1					
	$Y_{17гз}$	⊙			⊙	⊙				⊙	⊙		⊕	⊙		⊕	⊙	1				
	$Y_{18гз}$	⊙			⊙	∅	⊙			⊙	⊙				⊙	⊙	⊙		1			
	$Y_{19гз}$		⊙		⊙	⊙		⊙		⊙	⊙	∅				⊙	⊙			1		
	$Y_{20гз}$			⊙	⊙	⊕			⊙	⊙	∅					⊙	⊙				1	
	$Y_{21гз}$	⊙	⊕	∅	⊙	⊙	⊙	⊕	⊙	⊙	⊙	⊙	∅	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊕	1

В таблице обозначены следующие основные этапы приготовления зефира:

1. ТП приготовления агаро- сахаро- паточного сиропа

Y_{1c} (X_{11}) - цвет готового сиропа, Ц;

Y_{2c} (X_{12}) - вкус готового сиропа, В;

$Y_{3с}$ (X_{13}) - запах готового сиропа, З;
$Y_{4с}$ (X_{14}) - массовая доля сухих веществ в готовом сиропе,W от 84,5 до 85 %.
$Y_{5с}$ (X_{15}) – концентрация патоки в готовом сиропе, W от 5 до 25 %.

2. ТП приготовления зефирной массы

$Y_{6зм}$ (X_{24}) - цвет сбивной зефирной массы, Ц;
$Y_{7зм}$ (X_{25}) - вкус сбивной зефирной массы, В;
$Y_{8зм}$ (X_{26}) - запах сбивной зефирной массы, З;
$Y_{9зм}$ (X_{27}) - массовая доля сухих веществ в сбивной массе, W от 78 до 80 %;
$Y_{10зм}$ (X_{27}) – консистенция зефирной массы.

3. ТП формования зефира

$Y_{11ф}$ (X_{32}) – форма полученных конфет зефира;
$Y_{12ф}$ (X_{33}) - вкус зефира после формования, В;
$Y_{13ф}$ (X_{34}) - внешний вид поверхности зефира после формования, ВнВ;
$Y_{14ф}$ (X_{35}) - цвет зефира после формования, Ц;
$Y_{15ф}$ (X_{36}) – консистенция зефира после формования, К.

4. ТП структурообразования зефирной массы, подсушки половинок зефира и приготовления зефира
$Y_{16гз}$ (X_{47}) – температура готового зефира, t, °С;
$Y_{17гз}$ (X_{48}) – состояние поверхности, целостность зефира, П;
$Y_{18гз}$ (X_{49}) –цвет готового зефира, Ц;
$Y_{19гз}$ (X_{50}) – вкус готового зефира, В;
$Y_{20гз}$ (X_{51}) – запах готового зефира, З;
$Y_{21гз}$ (X_{52}) – консистенция готового зефира, К.

Полученные результаты дают возможность проследить причинно - следственные влияния параметров друг на друга и на показатели качества готового зефира с формализацией алгоритмов диагностики и прогнозирования состояний ТП и качества готовой продукции, полуфабрикатов и сырья на каждой стадии ТП этого производства. Элементы главной диагонали матрицы (итоговая таблица 4.12) отображают текущее отклонение наблюдаемых факторов от заданных значений, а недиагональные – составляющие их отклонения с упорядочиванием по строкам всех причин отклонения, а по столбцам - возможные следственные влияния на другие параметры.

4.2.9. Ситуационное моделирование ТП производства козинак

В таблице 4.13 представлена ситуационная модель ТП производства козиак, в которой приведены данные сравнения экспериментальных исследований (раздел 4.1.8) с результатами опроса экспертов. Символом (•) обозначено наличие функциональной связи между входными и выходными переменными; знак «+» - показывает нахождение новых связей, а символ (∅) означает опровержение оценок эксперта.

Полученные данные дают возможность проследить причинно - следственные влияния параметров друг на друга и на показатели качества готовых конфет козинак с формализацией алгоритмов диагностики и прогнозирования состояний ТП и качества готовой продукции, полуфабрикатов и сырья на каждой стадии ТП этого производства. Элементы главной диагонали матрицы (итоговая таблица 4.13) отображают текущее отклонение наблюдаемых факторов от заданных значений, а недиагональные – составляющие их отклонения с упорядочиванием по строкам всех причин отклонения, а по столбцам - возможные следственные влияния на другие параметры.

Таблица 4.13

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

Основные стадии ТП пр-ва карамели		I		II			III		IУ				У						
	Вых. параметр	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_{1c}	1																	
	Y_{2c}	⊙	1																
II ТП приг сахарного сиропа	$Y_{3д}$	⊙	⊙																
	$Y_{4в}$	⊙	∅	⊙	1														
	$Y_{5ж}$	⊕		⊙	⊕	1													
III ТП приг кар.сиропа	$Y_{6км}$	⊙	⊕			⊙	1												
	$Y_{7км}$	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙		1											
IУ. ТП вымешивания карамельной массы с СП	$Y_{8км}$		∅		⊙	⊙	⊙	⊕	1										
	$Y_{9км}$	⊕	⊙		⊙	⊙	⊕	⊙	⊙	1									
	$Y_{10км}$	⊙	⊕	⊙		∅	⊙		⊙	∅	1								
	$Y_{11км}$	⊕	⊙		⊙	⊙	⊕	⊙	⊕	⊙	∅	1							
У. ТП формования конфет козинак	$Y_{12км}$	∅	∅			⊙			⊙	⊙			1						
	$Y_{13км}$	⊙	⊙		⊙	⊙		⊙	⊙	⊙		⊙		1					
	$Y_{14г}$	⊙	⊙	⊙		⊙	⊙		⊙	⊙	⊙				1				
	$Y_{15г}$		⊙			⊙			⊙	⊙						1			
	$Y_{16ох}$	⊙	⊙			⊙			⊙	⊙			⊙				1		
	$Y_{17гк}$	⊙	⊕	⊙	⊙	⊙		⊙	⊙	⊙	∅	⊕	⊕	⊙	⊙	⊕	⊙	1	
	$Y_{18к}$	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	∅	⊙	⊙	⊙	⊙	⊕	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	1

В таблице обозначены следующие основные этапы приготовления козинак:

1. ТП сепарирования семян подсолнечника

$Y_{1сп}$ (X_7) - выходной параметр - коэффициент извлечения примеси в семенах подсолнечника, характеризующий качество основного сырья, %;
$Y_{2сп}$ (X_8) - выходной параметр - внешний вид семян подсолнечника (размер, цвет, состояние поверхности, целостность).

2. ТП приготовления сахарного сиропа
$Y_{3ц}$ (X_{17}) - цвет сахарного сиропа, Ц;
$Y_{4в}$ (X_{18}) - вкус готового сахарного сиропа, В;
Y_{5w} (X_{19}) - W от 78 до 80 %.

3. ТП приготовления карамельного сиропа

$Y_{6кс}$ (X_{27}) - цвет карамельного сиропа, Ц;
$Y_{7кс}$ (X_{28}) - вкус готового карамельного сиропа, В.

4. ТП вымешивания карамельной массы с семенами подсолнечника

$Y_{8мк}$ (X_{34}) - температура полученной на выходе массы козинак, t от 90—95°С;
$Y_{9мк}$ (X_{35}) – влажность массы козинак после вымешивания, W (16– 18 %);
$Y_{10мк}$ (X_{36}) - цвет массы козинак после вымешивания, Ц;
$Y_{11мк}$ (X_{37}) - вкус массы козинак после вымешивания, Ц;

5. ТП формования конфет козинак

$Y_{12ф}$ (X_{44}) - высота жгута козинак;
$Y_{13ф}$ (X_{45}) - вкус готовых конфет козинак, В;
$Y_{14ф}$ (X_{46}) - цвет готовых конфет козинак, Ц.
$Y_{15ф}$ (X_{47}) - запах готовых конфет козинак, В;
$Y_{16ф}$ (X_{48}) - форма готовых конфет козинак, В;
$Y_{17ф}$ (X_{49}) - консистенция готовых конфет козинак, К;
$Y_{18ф}$ (X_{50}) - влажность готовых конфет козинак, W, %.

4.2.10. Ситуационное моделирование ТП производства драже

В таблице 4.14 представлена ситуационная модель ТП производства драже, в которой приведены данные сравнения экспериментальных исследований (раздел 4.1.9) с результатами опроса экспертов. Полученные данные дают возможность проследить причинно - следственные влияния параметров друг на друга и на показатели качества готовых конфет драже с формализацией алгоритмов диагностики и прогнозирования состояний ТП и качества готовой

продукции, полуфабрикатов и сырья на каждой стадии ТП этого производства. Элементы главной диагонали матрицы отображают текущее отклонение наблюдаемых факторов от заданных значений, а недиагональные – их отклонения с упорядочиванием по строкам всех причин отклонения, а по столбцам - возможные следственные влияния на дру-гие параметры.

Таблица 4.14

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

Основные стадии ТП пр-ва карамели		I					II		III						
	Вых. параметр	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}
1. ТП приготовления СП сиропа	Y_{1c}	1													
	Y_{2c}		1												
	Y_{3c}			1											
	Y_{4c}	⊙	⊙	⊙	1										
	Y_{5c}	⊙	⊙	⊙	⊙	1									
II. ТП накатки	$Y_{6нд}$				⊙	⊙	1								
	$Y_{7нд}$		⊙		⊕	⊙	⊙	1							
III. ТП глянцевания и сушки драже	$Y_{8гд}$		∅		⊙	⊙	⊙	⊙	1						
	$Y_{9гд}$	∅	⊙	⊕	⊙	⊙	⊕	⊙	∅	1					
	$Y_{10км}$		⊕		⊙	⊙	⊖	⊕	⊙	⊙	1				
	$Y_{11км}$		⊙		⊕	⊕	⊕	∅		⊙	∅	1			
	$Y_{12км}$		∅	⊙	⊕	⊕				⊙			1		
	$Y_{13км}$	⊙	⊙		∅	⊕				⊙				1	
	$Y_{14т}$	∅	⊙		⊙	⊙	⊕	⊙	∅	⊙	⊙	∅	∅	∅	1

1. ТП приготовления сахаро-паточного сиропа (поливочного сиропа для накатки)

Y_{1c} (X_{13}) - цвет готового сиропа, Ц;

Y_{2c} (X_{14}) - вкус готового сиропа, В;

Y_{3c} (X_{15}) - запах готового сиропа, З;

Y_{4c} (X_{16}) - массовая доля сухих веществ в готовом сиропе, W от 78 до 80 %.

Y_{5c} (X_{17}) – влажность готового поливочного сиропа содержит, W, 17 - 20 %.

2. ТП накатки корпусов драже

$Y_{6нд}$ (X_{25}) – объем накатки к массе корпуса драже, 10 – 12% ;

$Y_{7нд}$ (X_{26}) – объем готового полуфабриката, V, мм^3.

3. ТП глянцевания и сушки драже

$Y_{8гд}$ (X_{37}) – размеры готового драже, V, мм^3;

$Y_{9гд}$ (X_{38}) - содержание влаги в драже, W, 0,3 – 5,0 %;

$Y_{10гд}$ (X_{39}) –форма готового драже, Ф;
$Y_{11гд}$ (X_{40}) –вкус готового драже, В;
$Y_{12гд}$ (X_{41}) – аромат готового драже, З;
$Y_{13гд}$ (X_{42}) – цвет готового драже, Ц;
$Y_{14гд}$ (X_{43}) – состояние поверхности, контроль глянца

4.2.11. Ситуационное моделирование ТП производства ириса

В таблице 4.15 представлена ситуационная модель ТП производства ириса, в которой приведены данные сравнения экспериментальных исследований (раздел 4.1.10) с результатами опроса экспертов.

Таблица 4.15

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

Основные стадии ТП пр-ва ириса		I					II							III						
	Вых. параметр	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																
	$Y_{4с}$	⊙	Ø	⊙	1															
	$Y_{5с}$	Ø	⊕	⊙	Ø	1														
II. ТП приготовления ирисной массы – уваривание и охлаждение	$Y_{6км}$	⊙	⊕	⊙	⊙		1													
	$Y_{7км}$	⊙	⊙	⊕				1												
	$Y_{8км}$	⊙	Ø	Ø		⊙			1											
	$Y_{9км}$	⊕	⊙	⊕	Ø	⊙	⊕	⊙	⊙	1										
	$Y_{10км}$	⊙	⊕	⊕	⊙	⊙	⊙	⊕	⊙	⊙	1									
	$Y_{11км}$	⊙	⊙	⊙	⊕	⊙	⊕	⊙	⊕	⊙	⊙	1								
	$Y_{12км}$	⊙	⊙	⊙	⊕	⊙	⊙	⊙	⊕	⊙	⊙	⊙	1							
III. ТП формования и обработки ирисной массы	$Y_{13гк}$	⊙	⊙	⊕	⊙	⊙	⊙	⊙	Ø	⊙	⊙	⊙	⊙	1						
	$Y_{14гк}$	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊕	⊙	⊙	⊕	⊙	⊙	1					
	$Y_{15гк}$	⊙	⊕	⊙	⊙		⊙		⊕	⊕	⊙	⊕	⊙	⊙	⊙	1				
	$Y_{16гк}$	⊙	⊕	⊙				⊙		Ø	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊕	1			
	$Y_{17гк}$	⊙	⊕	⊕		⊙			⊙		⊙	⊕	⊕	⊙	⊙			1		
	$Y_{18гк}$	⊕	⊙	⊙						⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	Ø	Ø	⊕	1	
	$Y_{19гк}$	⊙	⊙	⊙	Ø		Ø			⊙	⊙	⊕	⊙	⊙	⊙			Ø	⊙	1

Полученные данные дают возможность проследить причинно - следственные влияния параметров друг на друга и на показатели качества готовых конфет ириса с формализацией алгоритмов диагностики и прогнозирования состояний ТП и качества готовой продукции, полуфабрикатов и сырья на каждой стадии

ТП этого производства. Элементы главной диагонали матрицы отображают текущее отклонение наблюдаемых факторов от заданных значений, а недиагональные –их отклонения с упорядочиванием по строкам всех причин отклонения, а по столбцам - возможные следственные влияния на другие параметры.

В таблице обозначены следующие основные этапы приготовления ириса:

1. ТП приготовления рецептурной смеси

$Y_{1рс}$ (X_{15}) - температура рецептурной смеси на выходе, t, 45—55°С;
$Y_{2рс}$ (X_{16}) – содержания сухих веществ, W, около 78%;
$Y_{3рс}$ (X_{17}) – влажность готовой рецептурной смеси, W от 20,0 до 22,0 %;
$Y_{4рс}$ (X_{18}) – цвет рецептурной смеси, Ц;
$Y_{5рс}$ (X_{19}) – запах рецептурной смеси, З.

2. ТП приготовления ирисной массы – уваривание и охлаждение

$Y_{6им}$ (X_{28}) - цвет ирисной массы, Ц;
$Y_{7им}$ (X_{29}) - вкус ирисной массы, В;
$Y_{8им}$ (X_{30}) - запах ирисной массы а, З;
$Y_{9им}$ (X_{31}) – влажность ирисной массы, W, %, 6 - 9 %;
$Y_{10им}$ (X_{32}) - вязкость карамельной массы, η ;
$Y_{11им}$ (X_{33}) –температура ирисной массы после уваривания,$t_{им}$ от 112 - 115 °С;
$Y_{12им}$ (X_{34}) –температура ирисной массы после охдаждения, $t_{им}$ от 40 - 45 °С.

3. ТП формования и обработки ирисной массы

$Y_{13ги}$ (X_{40}) – консистенция готового ириса, К;
$Y_{14ги}$ (X_{41}) –температура готового ириса, t, °С;
$Y_{15ги}$ (X_{42}) – цвет готового ириса, Ц;
$Y_{16ги}$ (X_{43}) – вкус готового ириса, В;
$Y_{17ги}$ (X_{44}) – запах готового ириса, З;
$Y_{18ги}$ (X_{45}) –форма готового ириса, Ф;
$Y_{19ги}$ (X_{46}) –состояние поверхности, СП.

4.3. Мультиагентное имитационное моделирование процесса производства кондитерской продукции с использованием ПО AnyLogic

4.3.1. Обоснование необходимости имитационного моделирования производства кондитерской продукции

Полученные результаты позволяют перейти к мультиагентному имитационному моделированию процессов производства кондитерской продукции,

необходимому для решения поставленной цели - создания интеллектуальной системы автоматического контроля и управления качеством кондитерской продукции в процессе ее производства.

В результате проведенных во П главе исследований (п. 2.3) установлено, что мультиагентное имитационное моделирование является одним из самых эффективных интеллектуальных методов исследования, позволяющих с помощью цифровых средств создать подобие реального процесса производства кондитерской продукции с возможностью прогнозирования и идентификации этого процесса [61, 129]. Данный тип моделирования необходим для проведения экспериментов, направленных на совершенствование и цифровизацию исследуемых процессов кондитерского производства и получение возможности их виртуального тестирования.

Проведенный обзор и анализ методов и средств имитационного моделирования [11, 12, 25, 60, 61, 71, 74? 127 – 129 и др.] показал, что наиболее эффективной системой для мультиагентного имитационного моделирования производства кондитерской продукции является ПО AnyLogic.

Как было показано в 1 главе, процесс производства кондитерской продукции содержит множество контролируемых и регулируемых параметров, необходимых для получения продукции высокого качества. Для более детального анализа функционирования ТП приготовления каждой кондитерской продукции требуется создание модели, описывающей полный цикл производства с учетом всех параметров, влияющих на качество готовой продукции и эффективность эксплуатации оборудования.

Мультиагентное имитационное моделирование ТП производства кондитерской продукции с использованием ПО AnyLogic позволяет создавать динамические модели с визуальным отображением исследуемых процессов. Для построения имитационной модели процесса производства каждого кондитерского изделия требуется знание основных этапов производства, влияющих на эффектив-

ность изготовления исследуемой продукции. Этапы ТП производства разнообразной кондитерской продукции были представлены и проанализированы в 1У главе, разделы 4.1. и 4.2. На основании имеющихся данных были разработаны имитационные модели процессов производства кондитерских изделий на примере халвы и мармелада.

4.3.2. Мультиагентная имитационная модель процесса производства халвы с использованием ПО AnyLogic

Для более детального анализа функционирования ТП производства халвы требуется создание модели, описывающей полный цикл производства с учетом всех параметров, влияющих на качество готовой продукции и эффективность эксплуатации оборудования. Для построения имитационной модели процесса производства халвы требуется знание основных этапов технологического процесса производства халвы которые были представлены в 1 главе. На основании имеющихся данных была разработана имитационная модель процесса производства халвы, представленная на рисунке 4.51.

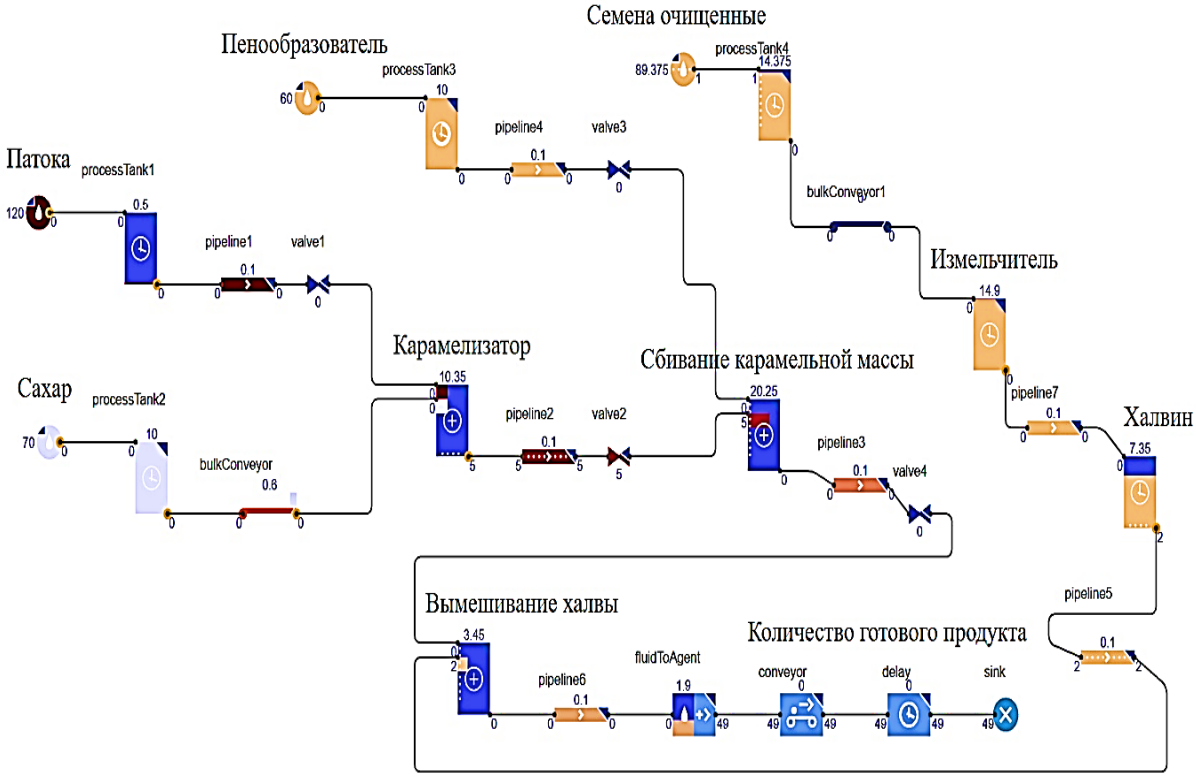


Рисунок 4.51 - Имитационная модель процесса производства халвы

Первый объект имитационной модели осуществляет создание потока основных компонентов и позволяет отследить количество используемого сырья за единицу времени.

ТП подготовки сырья к производству халвы представляет собой подачу рецептурных компонентов: патоки, сахара, пенообразователя, очищенных семян подсолнечника.

Объект process*Tank*, накапливает вещество до уровня вместимости, опционально задерживает (к примеру, обрабатывает) его определенное время, после чего выпускает эту массу.

В модели процесса производства халвы эти объекты (process*Tank 1,* process*Tank 2,* process*Tank 3,* process*Tank 4*) играют роль рецептурных сборников сырья.

Объект *Bulk Conveyor* является имитацией конвейера, предназначенного для транспортировки веществ. В модели он служит для транспортировки сахара-песка, очищенных семян подсолнечника и готовой продукции.

Mix Tank, создает смесь из веществ, поступающих из разных источников, опционально задерживает (обрабатывает) полученную смесь в течение определенного времени, после чего выпускает. Пропорции веществ в смеси можно определить, указав объем каждого вещества, либо указав общий объем и доли компонентов. Скорость потока на входе не ограничена. Скорость потока на выходе можно опционально ограничить. Новая смесь начнет накапливаться только после того, как предыдущая полностью покинула блок. В модели объект *Mix Tank* представляет собой следующие процессы: уваривание карамельной массы, сбивание карамельной массы с пенообразователем, *вымешивание* халвы.

Блок *Fluid To Agent* преобразует партии жидкости или объемного вещества в агенты (дискретные элементы), описывает процесс формования халвы [25].

Для разработки имитационной модели, были проанализированы основные характеристики, напрямую влияющие на качество проведения технологического процесса и на получение готовой продукции в целом.

На рисунке 4.52 показана разработанная модель производства халвы в виде двумерной графики. Модель позволяет провести анализ всех моделируемых процессов производства халвы с описанием их основных характеристик.

Разработанная модель визуально описывает взаимодействие сборников сырья и основного оборудования, используемого в ТП производства халвы.

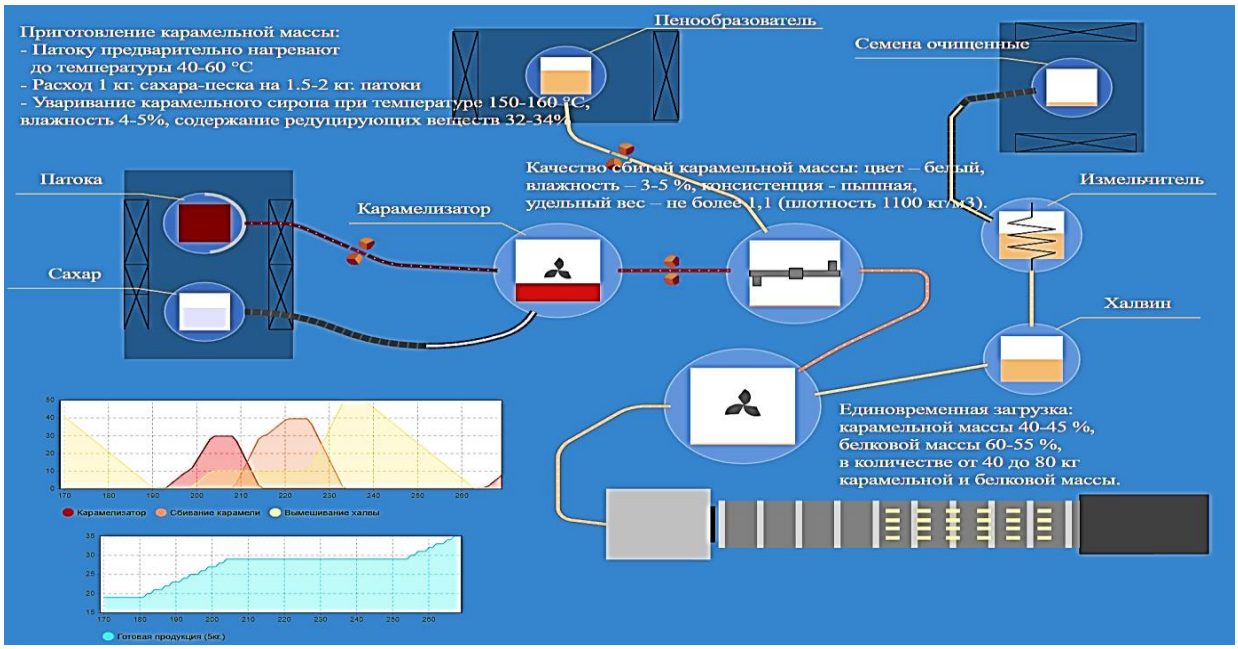


Рисунок 4.52 - Модель производства халвы в формате двумерной графики

Верхний временной график отражает информацию о состоянии карамелизатора, сбивального варочного котла и процесса вымешивании халвы. Нижний график показывает количество произведенного товара за единицу времени. Изначально патоку предварительно нагревают до 40-60 ^{0}C, затем загружают сахарный песок, просеянный на виброситах с отверстиями диаметром 3 мм и пропущенный через магниты. Карамельный сироп уваривается в котлах, температура карамельной массы достигает 150-160 ^{0}C, влажность должна быть 4-5 %, содержание редуцирующих веществ 32-34 %. Карамельную массу сбивают с пенообразователем с целью получения более пористой, рыхлой массы, необходимой для получения волокнистой структуры халвы. Далее, происходит вымешивание карамели вместе с белковой массой подсолнечника. И затем единовременная загрузка чаши: карамельной массы 40-45 %, белковой массы 60-55 %, в количестве от 40 до 80 кг карамельной и белковой массы.

Процесс вымешивания проводят следующим образом: добавляют необходимое количество белковой массы, затем через нижний штуцер сбивального котла вливают сбитую карамельную массу с температурой в пределах 100-110 ^{0}C, а также в соответствии с рецептурой. Все добавки, полагающиеся по рецептуре, вводятся в растертую массу. Температура растертой массы должна быть 40-45 ^{0}C. Первый замес (смешивание) продолжается примерно 1-1,5 мин. до образования тестообразной массы с крупными волокнами карамели и неполным распределением растертой массы. После первого замеса халвичную массу охлаждают (обычно при помощи технологической вентиляции) до температуры 75-80 ^{0}C. Второй замес продолжается обычно 3-4 минуты. Температура второго замеса 65-70 ^{0}C. После второго замеса массу охлаждают до температуры 60-65 ^{0}C и проводят третью окончательную стадию вымешивания (перекидывание). Перекидывание повторяют 4-6 раз, пока халвичная масса получит тонковолокнистое строение. Третья стадия вымешивания продолжается 3-4 минуты. Готовая халва должна иметь температуру при расфасовке в тару 50-60 ^{0}C.

Таким образом, была разработана информационно-аналитическая мультиагентная система имитационного моделирования с помощью среды ПО AnyLogic для идентификации линии производства халвы.

Разработанная в данной работе виртуальная модель всех этапов процесса производства халвы дает описание реализованных агентов с помощью среды имитационного моделирования AnyLogic, позволяет воспроизвести автоматизированный процесс производства халвы. Дает возможность провести дальнейшие исследования, направленные на детальный разбор основных этапов производства халвы; дать оценку функциональности существующей АСУТП производства халвы, реализуемой в настоящее время на кондитерских предприятиях.

Проведенные нами исследования с использованием методов мультиагентного имитационного моделирования позволили спрогнозировать выходные параметры процесса производства халвы, а также идентифицировать внутренние процессы при моделировании системы.

Благодаря разработанной модели производства халвы в виртуальном пространстве на базе имитационного моделирования с использованием ПО AnyLogic можно повысить эффективность исследуемого производства и улучшить качество производимой продукции – халвы 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. Также можно также получить рекомендации по актуализации параметров, направленных на оптимизацию производственного процесса.

Полученные результаты моделирования ТП производства халвы могут быть использованы также как основа для анализа актуальности подобранного технологического оборудования, оптимизации технологических и режимных параметров, влияющих на ход производства продукции, оценки эффективности реализации имеющихся ресурсов, рентабельности и издержек производства.

4.3.3. Мультиагентная имитационная модель процесса производства мармелада с использованием ПО AnyLogic

Для более детального анализа процесса производства мармеладных конфет была разработана мультиагентная имитационная модель процесса производства мармелада на основе применения агентного моделирования с использованием ПО AnyLogic.

Исследование и анализ ТП производства мармелада, проведенные в 1 главе, раздел 1.2., п.1.2.4, показали, что современный ТП производства мармеладных конфет, представляет собой совокупность технологического оборудования, предназначенного для обработки рецептурных компонентов, которые, в свою очередь, используются как средство реализации для производства мармелада. Получение оптимального результата функционирования производства осуществляется посредством подбора технологических и режимных параметров, которые можно получить методом имитационного моделирования, что позволит производить больше мармелада высокого качества за более короткое время или

подобрать наиболее оптимальные параметры, способные максимально эффективно использовать ресурсы предприятия для производства данной продукции. Для построения мультиагентной имитационной модели процессов производства мармелада были использованы данные проведенных исследований ТП производства мармелада как объекта автоматизации (глава 1, раздел 1.2., п. 1.2.4), а также применялись объекты библиотеки моделирования потоков.

Основными автоматизированными процессами в данном производстве являлись: автоматизация подачи рецептурных компонентов в промежуточные сборники сырья; автоматическое дозирование компонентов в варочный котел для производства желейных мармеладных масс; контроль параметров, влияющих на ход ТП, а также их стабилизация; автоматическая защита, предохраняющая оборудование от аварий и блокировка в случае необходимости.

На рисунке 4.53 представлена мультиагентная имитационная модель ТП производства мармеладных конфет.

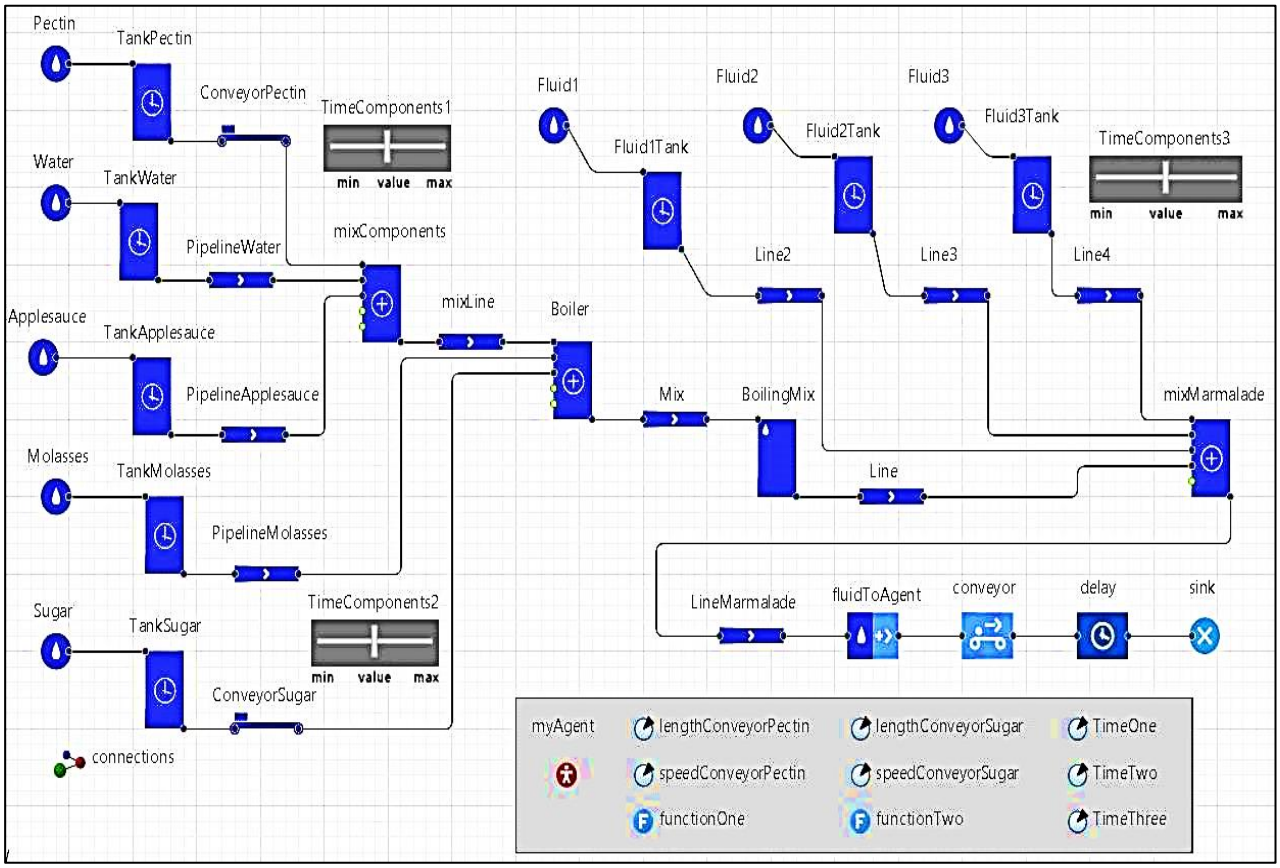


Рисунок 4.53 - Мультиагентная имитационная модель процесса производства мармеладных конфет

Первый объект Fluid Source (создает поток). Позволяет отследить количество используемого сырья за единицу времени.

В модели производства мармеладных конфет имеются следующие имена: *Pectin, Water, Applesauce, Molasses, Sugar, Fluid1* (эмульсия из кислоты), *Fluid2* (фруктовая эссенция), *Fluid3* (краситель).

Объект *Tank*, накапливает вещество до уровня вместимости, опционально задерживает, к примеру, обрабатывает его определенное время, после чего выпускает. В модели процесса производства мармеладных конфет этот объект играет роль рецептурного сборника сырья.

Объект *Bulk Conveyor* является имитацией конвейера для транспортировки веществ. В модели служит для транспортировки пектина и сахара-песка.

Mix Tank, создает смесь из веществ, поступающих из разных источников, количеством до пяти штук, опционально задерживает (обрабатывает) полученную смесь в течение определенного времени, после чего выпускает. Пропорции веществ в смеси можно определить, указав объем каждого вещества, либо указав общий объем и доли компонентов. Скорость потока на входе не ограничена, скорость потока на выходе можно опционально ограничить. Новая смесь начнет накапливаться только после того, как предыдущая полностью покинула блок. Изначально резервуар пуст. В модели данный объект имеет следующие имена: *mixComponents* (пектинорастворитель), *Boiler* (котел), *mixMarmalade* (емкость для смешивания компонентов).

Блок *Fluid To Agent* преобразует партии жидкости или объемного вещества в агенты (дискретные элементы).

Fluid Dispose, принимает входящий поток и устраняет его (удаляет из системы). Является стандартным завершающим блоком в диаграмме процесса Библиотеки Моделирования Потоков. Принимает поток любой скорости.

myAgent – агент, предназначенный для регулирования времени задержки дозируемых компонентов в объекте *Tank* с помощью параметров *Time*. Также позволяет применять функции, регулирующие переменные скорости конвейеров

(speedConveyor) в зависимости от заданных параметров длины конвейера *(lengthConveyor)*.

Параметры запуска представлены на рисунке 4.54.

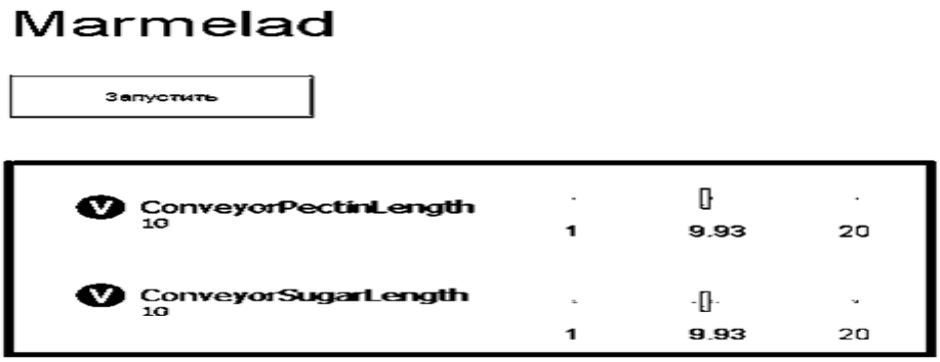


Рисунок 4.54 - Параметры запуска

Параметры запуска осуществляют функции условий регулирования длины конвейера и его скорости. В зависимости от длины конвейера, подбирается наиболее актуальная скорость для корректной реализации моделируемого процесса. Прежде чем воспроизвести модель, предоставляется возможность изменения длины конвейеров для сахара-песка и пектина, что позволяет изменить скорость дозирования веществ, перед началом симуляции производства. На рисунке 4.55 показан стандартный формат воспроизведенной модели.

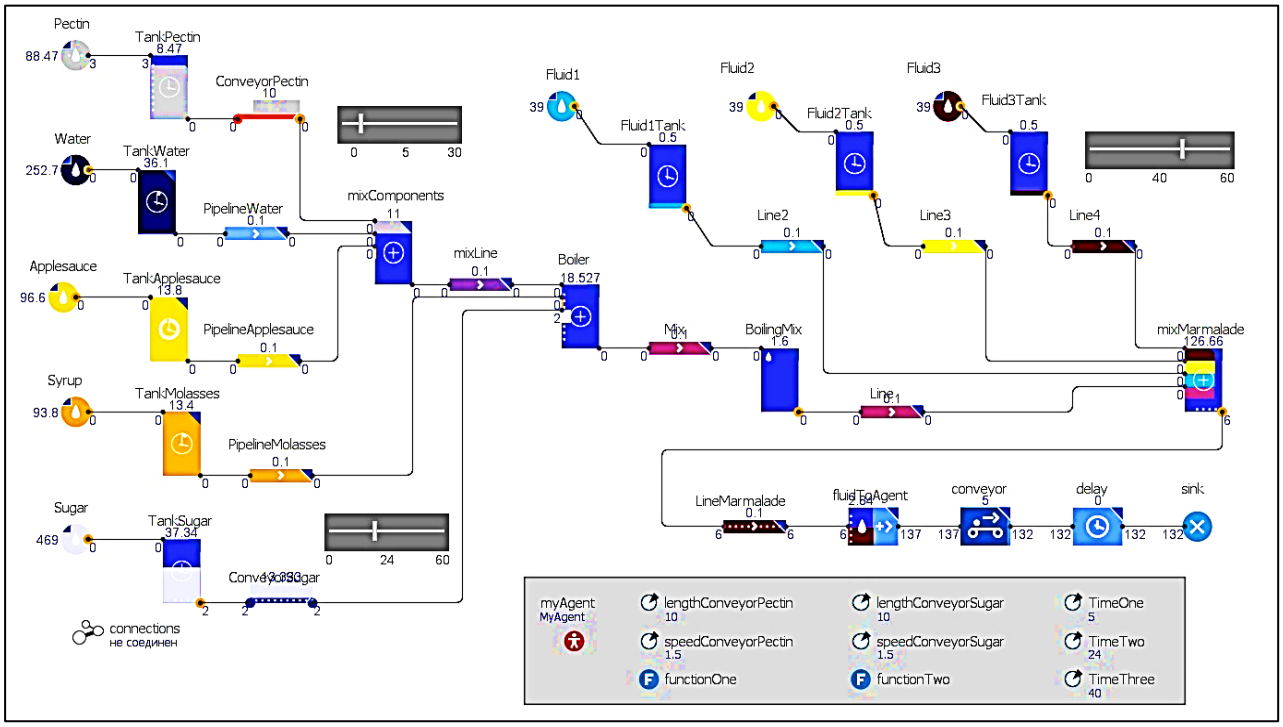


Рисунок 4.55 - Стандартный формат воспроизведенной модели

На рисунке 4.56 изображена та же модель на основе библиотеки моделирования потоков ПО AnyLogic, реализованная в виде двумерной графики, с описанием основных задач производства.

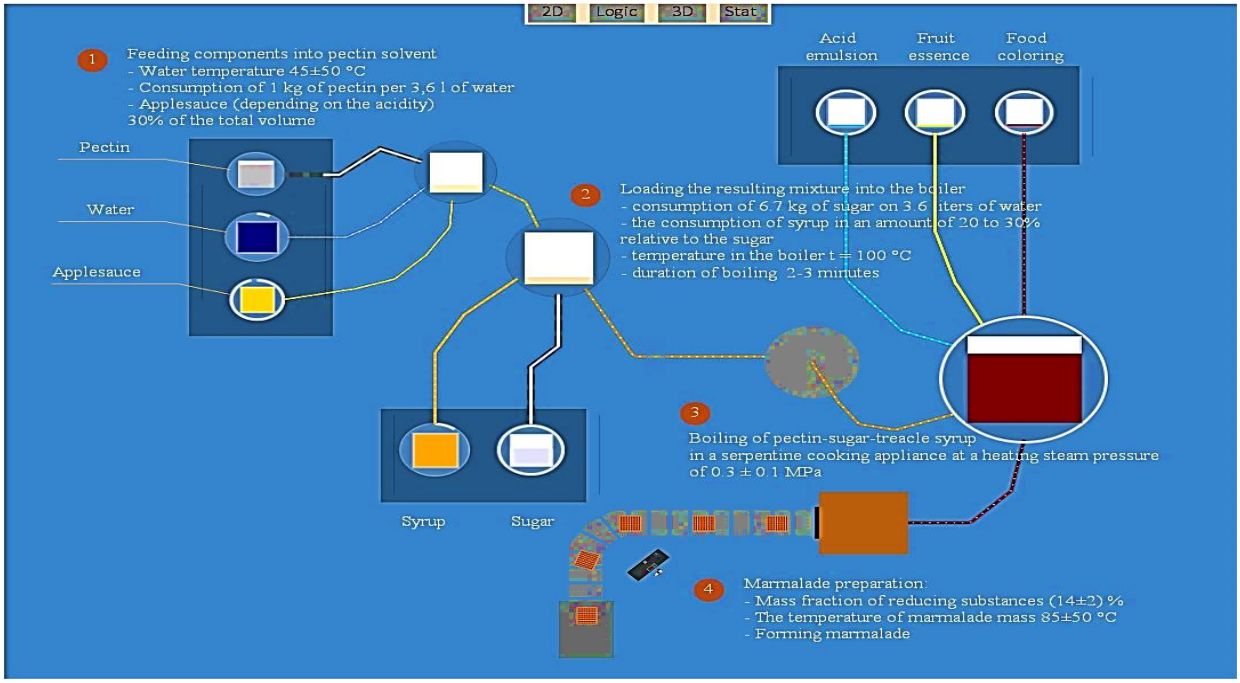


Рис. 4.56 - Модель производства мармелада в формате двумерной графики

Агент регулировщик производственного процесса

Для регулирования параметров производства, которые могут прямо повлиять на качество функционирования ТП производства мармелада, служит специальный агент регулировщик. Данный агент представляет собой набор параметров, описывающих необходимые функции реализации. Такие функции предназначены для корректного регулирования параметров модели с целью моделирования различных ситуаций, которые могут возникнуть при использовании оборудования.

На рисунке 4.57 изображены свойства агента регулировщика и его визуализация для презентации в двумерной и трехмерной модели. Основными переменными, подверженными регулированию, как в процессе моделирования, так и перед его началом, являются: скорость конвейера, длина конвейера, реализуемые для транспортировки пектина и сахара песка, а также время задержки для дозирования компонентов, используемых при приготовлении мармелада.

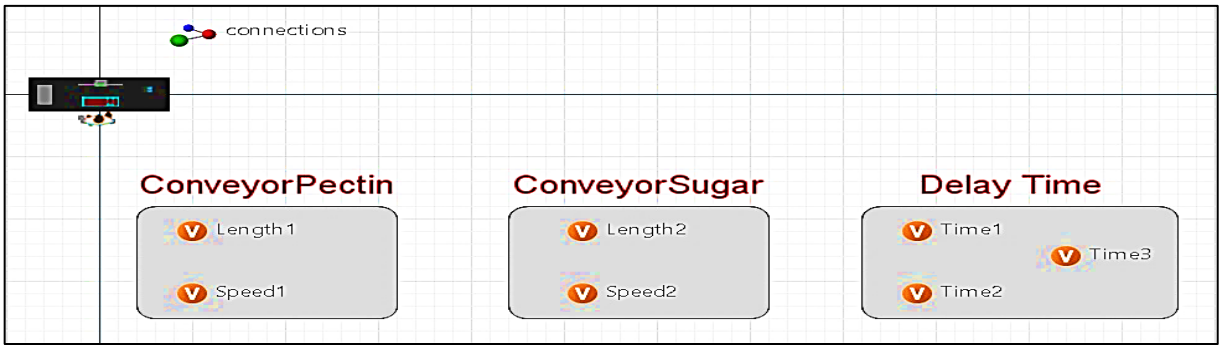


Рисунок 4.57 - Содержание агента регулировщика

На рисунке 4.58 представлены параметры, значения которых контролируются двумя функциями. Также в процессе воспроизведения модели предоставлена возможность отслеживать значения каждого параметра и объекта, используемого при моделировании (функции агента).

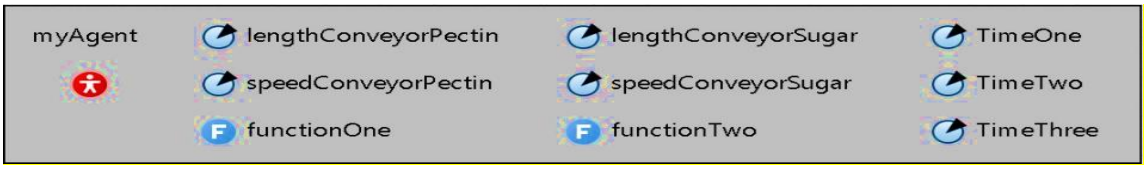


Рисунок 4.58 - Параметры и функции агента

Параметр размерности представляет собой длину конвейера, представленного в метрах, как единица измерения, поддающаяся регулированию. Параметр скорости предназначен для возможности регулирования транспортировки сырья в процессе производства. Это поможет провести тесты временных характеристик модельного времени для принятия решений, направленных на сбалансированный ход производственных циклов.

Для регулирования времени дозирования рецептурных компонентов продукта, предназначен временной параметр. Он используется как имитация автоматизированной подачи компонентов между объектами системы, при определенных условиях, отвечающих за ход процесса.

Функция, используемая агентом имитационной модели, предназначена для регулирования параметра скорости конвейеров относительно их длины. Такая функция необходима для корректного протекания процесса в модели после её запуска и служит защитой от ошибок, при изменении различных параметров,

связанных со скоростью протекания автоматизированного процесса производства мармеладных конфет.

На рисунке 4.59 представлена визуализация результатов моделирования.

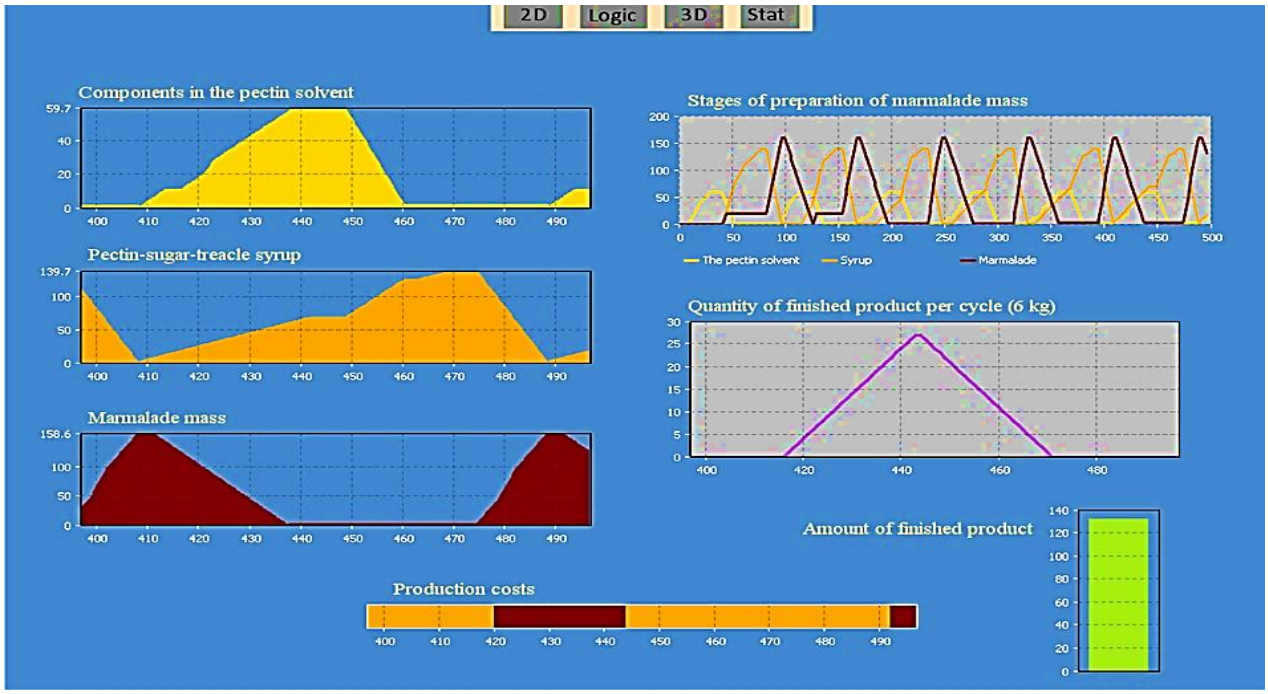


Рисунок 4.59 - Визуализация результатов моделирования

Статистические данные, представленные на рисунке 4.70 отражают информацию о состоянии объектов *mixComponents* (компоненты в пектинорастворителе), *Boiler* (пектино-сахаро-паточный сироп в котле), *mixMarmalade* (приготовление мармеладной массы). Контроль над количеством созданных агентов, представляющих собой конфеты мармелада, осуществляет график, показывающий данные о количестве готового продукта произведенного за один цикл, и столбиковая диаграмма, необходимая для отображения общей суммы ранее произведенного продукта. Также для контроля срока производства готовой продукции, необходимо отслеживать временные показатели основных этапов изготовления используемого сырья. Для осуществления такой цели был реализован график, который отображает затрачиваемое время на производство мармеладной массы (оранжевый цвет) и время, затрачиваемое на формование конфет (красный цвет).

Использование статистических данных позволяет на их основе регулировать временные параметры, осуществляющие правильное протекание работы модели, с целью уменьшения возникновения возможных задержек.

Для разработки имитационной модели производства мармелада были затронуты основные характеристики, напрямую влияющие на качество проводимых технологических этапов и получения результата конечного продукта в целом. Подбор оптимальных значений для изготовления мармеладных конфет осуществляет агент регулировщик, способный изменять параметры модели для извлечения наиболее оптимальных вариантов функционирования исследуемой системы. Таким образом результатами моделирования процесса производства мармелада являются:

- созданная модель, на основе объектов библиотеки моделирования потоков, с полным содержанием параметров, отражающих объемы производства мармеладных конфет;
- в модели отражены и реализованы все основные этапы производства, начиная с подбора оборудования до рецептурных компонентов производимой продукции;
- модель построена на мультиагентном методе моделирования, представляя собой набор агентов, которые описывают рецептурные компоненты производственного процесса, регулируемые параметры и готовую продукцию;
- создан агент регулировщик, с помощью которого можно изменять параметры производства, как в процессе проигрывания модели, так и непосредственно перед её запуском;
- реализовано визуальное представление модели на основе двумерной графики с подробным описанием этапов изготовления продукции;
- получены результаты моделирования в виде статистических данных, отображающие динамику поведения модели;

- на основе полученных данных произведен анализ этапов производства и даны рекомендации по улучшению функционирования автоматизированных процессов производства мармелада.

Разработанная мультиагентная имитационная модель процесса производства мармелада позволяет виртуально воспроизвести процесс производства этих конфет для проведения исследований, направленных на детальный разбор основных этапов изготовления продукции, контроль изменчивости параметров, влияющих на конечный результат, постановку новых оптимальных технологических решений и формулирование задач по эксплуатации автоматизированной системы, реализуемой в кондитерской промышленности.

4.4. Выводы по 4 главе

Четвертая глава посвящена анализу проведенных экспериментальных исследований всех этапов ТП производства кондитерской продукции разной структуры и разработке структурно- параметрических, математических, ситуационных и имитационных моделей этих процессов производства.

- Проведены экспериментальные исследования и осуществлен выбор параметров, оказывающих наибольшее влияние на качество сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции разной структуры на всех стадиях их производства.

- Выполнено структурно – параметрическое моделирование и разработаны параметрические и математические модели ТП производства шоколада, сбивных конфет (суфле, птичье молоко и др.), халвы, мармелада, карамели, зефира, козинак, драже, ириса.

- Проведен анализ ТП производства кондитерской продукции с использованием матрицы экспертных оценок влияния входных параметров на показатели качества на всех стадиях производства кондитерской продукции разной структуры.

- Разработаны ситуационные модели качества ТП кондитерской продукции различной структуры: шоколада, сбивных конфет (суфле, птичье молоко и др.), халвы, мармелада, карамели, зефира, козинак, драже, ириса.

- Проведен анализ ТП производства кондитерской продукции методом мультиагентного имитационного моделирования с использованием ПО AnyLogic. Разработаны имитационные модели этих ТП.

- Определены и обоснованы основные технологические и режимные параметры, оказывающие значительное влияние на ТП производства разнообразной кондитерской продукции: шоколада, сбивных конфет суфле, птичье молоко и др.

- Разработанные в данной главе структурно- параметрические, математические, ситуационные и мультиагентные модели являются основой создания интеллектуальной системы автоматического контроля, прогнозирования и управления качеством кондитерской продукции в процессе производства.

ГЛАВА 5. МЕТОДИКА АВТОМАТИЗАЦИИ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОИЗВОДСТВА КОНДИТЕРСКОЙ ПРОДУКЦИИ НА ОСНОВЕ ИХ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ, МАТЕМАТИЧЕСКИХ, СИТУАЦИОННЫХ И ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ

Для решения проблемы цифровизации кондитерской промышленности необходимо создание и активное использование цифровых двойников ТП производства этой продукции.

5.1. Понятие цифровых двойников

Цифровой двойник (ЦД) – это математическая модель, которая может с высокой точностью описывать поведение объекта или процесса в разных ситуациях [52].

Цифровые двойники, представляющие собой виртуальные модели реальных объектов или процессов, позволяют моделировать, анализировать и оптимизировать различные аспекты реальных процессов производства в цифровом формате. С их помощью инженеры могут тестировать различные настройки оборудования, изменяя их до тех пор, пока результат не окажется наилучшим. И только потом внедрять новые идеи, новые разработки в реальный процесс производства. Цифровой двойник нужен, чтобы смоделировать, что будет происходить с оригиналом в тех или иных условиях. Это помогает сэкономить время и средства, например, если речь идет о сложном и дорогостоящем оборудовании. Цифровые двойники способны решать следующие задачи:

1. Провести тестовый запуск процесса или производственной цепочки быстро и без существенных материальных затрат.
2. Обнаружить проблему или уязвимость до того, как будет запущено производство или объект поступит в эксплуатацию.
3. Повысить эффективность процессов или систем, отследив все сбои еще до старта.

4. Снизить риски — в том числе финансовые, а также связанные с безопасностью для жизни и здоровья персонала.

5. Повысить конкурентоспособность и прибыльность бизнеса.

6. Строить долгосрочные прогнозы и планировать развитие компании или продукта на годы вперед.

7. Повысить лояльность клиентов за счет точного прогнозирования спроса и потребительских качеств продукта.

С развитием технологий и потребностей промышленности, концепция цифровых двойников стала находить применение в различных отраслях промышленности [52, 189]. В пищевой промышленности цифровые двойники могут быть использованы также для:

1) моделирования производственных процессов: это позволяет предвидеть и устранять возможные проблемы, а также оптимизировать производственные цепочки;

2) трассировки и контроля качества: цифровые двойники могут быть использованы для отслеживания и контроля происхождения продукции;

3) интегрирования с другими технологическими решениями, такими как IoT, блокчейн и другие, что делает процессы еще более эффективными.

5.2. Анализ проблемы разработки и использования в кондитерской промышленности цифровых двойников

С прогрессом развития технологий и стремлением к автоматизации, промышленность активно исследует возможности применения ЦД для оптимизации производственных процессов. Кондитерская промышленность – не исключение. Однако внедрение таких технологий в этой сфере сталкивается со своими специфическими проблемами и вызовами. Это:

1. Сложность моделирования ТП кондитерского производства:

• В кондитерской промышленности существует огромное разнообразие продукции, что создает необходимость разработки уникального ЦД для каждого вида продукта.

• Любое неверное предсказание или анализ со стороны ЦД может привести к снижению качества готового продукта.

2. Интеграция с существующим оборудованием:

• Многие кондитерские производства используют старое или специфическое оборудование, которое несовместимо с современными системами ЦД.

• Требуется дополнительное вложение ресурсов для адаптации или замены оборудования.

• Требуются дополнительные инвестиции в системы защиты данных.

3. Нехватка квалифицированных специалистов.

4. Дорогостоящий процесс разработки, внедрения и обслуживания;

Таким образом, ЦД предоставляют кондитерской промышленности множество перспектив для оптимизации производства. Но, для их получения предприятиям необходимо преодолеть ряд серьезных проблем.

Тем не менее, с правильным подходом и стратегией, внедрение цифровых двойников может стать решающим фактором для успешной и эффективной цифровой трансформации производства кондитерских изделий, значительно повысив качество выпускаемой кондитерской продукции.

5.3. Основные подходы к созданию и использованию цифровых двойников производства кондитерских изделий

5.3.1. Место цифровых двойников в цифровизации кондитерской промышленности

В современном мире происходят масштабные процессы изменений функционирования целых отраслей промышленности, основанных на стремительном развитии ряда цифровых технологий: интернет вещей и большие данные, а также технологии распределенного реестра и блокчейн, робототехника и квантовые технологии, виртуальная и дополненная реальность, предиктивная аналитика,

нейротехнологии и фотоника. Особое место в этом ряду принадлежит ЦД, поскольку они могут выступать не только как отдельная технология, но и как результат применения нескольких технологий (гибридные технологии).

Любой объект материального мира может быть «отзеркален» в виртуальном мире, так что виртуальная часть отражает физическую, а физическая — виртуальную. При этом виртуальная и физическая части объекта соединены информационной связью.

В 2014 году Майкл Гривс опубликовал статью, полностью посвященную цифровым двойникам в производстве, где отметил, что основа концепции цифровых двойников включает три базовых составляющих:

- реальный продукт в его реальном окружении;
- виртуальный продукт в его виртуальном окружении;
- информация и данные, связывающие реальный и виртуальный продукт.

Основываясь на концепции ЦД, автор публикаций по цифровому маркетингу Лиор Китаин (Lior Kitain) выделил 4 стадии развития концепции ЦД.

- Первая стадия подразумевает, что есть только реальный объект или процесс.
- На второй стадии происходит «отзеркаливание», то есть появляется цифровая версия реального объекта или процесса, которая с той или иной степенью адекватности описывает реальный объект или процесс.
- Третья стадия начинается, когда появляется связь между реальным объектом или процессом и их цифровой версией.
- Наконец, на четвертом этапе происходит сближение и даже пересечение реального объекта или процесса с их цифровыми версиями.

Между первой и второй стадией развития ЦД можно обозначить еще одну, промежуточную, которая многими считается отправной точкой для развития. В рамках этой стадии есть физический объект и его физический двойник, на котором воспроизводятся те же условия, в которых находится физический объект.

Современная концепция цифрового двойника.

Термин «цифровой двойник» может рассматриваться системно с трех сторон: уровней анализа; стадий жизненного цикла; технологий, которые используются для создания ЦД. Если проанализировать практику инженерной деятельности применительно к созданию ЦД, то можно отметить переход от более простых объектов и процессов к более сложным и масштабным. Выделяются следующие уровни анализа: отдельный компонент; изделие (продукт); цех (производство); ТП; предприятие, (включающее поставщиков, партнеров, потребителей); здание; город; объекты инфраструктуры.

Следующим подходом к концепции выступают ЦД со стороны жизненного цикла продуктов или реальных объектов. ЦД появились в работе Майкла Гривса об управлении жизненным циклом изделия и предполагали преодоление разрыва между процессами эксплуатации, производства и разработки при помощи цифрового образа объекта. Изначально ЦД создавались для уже существующих объектов. Текущий уровень развития технологий способствует тому, что ЦД могут создаваться на всех стадиях жизненного цикла реального объекта: от разработки, производства, испытания до эксплуатации и утилизации.

Третий подход к рассмотрению ЦД лежит со стороны технологий, заложенных в их основу. Очевидно, что природа реального объекта, а также стадия жизненного цикла, на которой этот реальный объект находится, определяют то, какие технологии будут использоваться для создания ЦД. Этот аспект влияет и на интерпретацию термина «цифровой двойник». Так, для многих авторов и организаций ряд технологий, включенных в решения ЦД, являются терминологически значимыми. Например, некоторые считают, что те решения, которые не являются элементами промышленного интернета вещей, не являются и ЦД [52].

Цифровые двойники можно создавать разными способами: модель на базе интернета вещей; графическая 3D-модель (пример представлен на рисунке 5.1); интегрированные математические модели; различные технологии визуализации — включая голограммы, AR и VR.



Рисуннок 5.1 - Линия получения шоколадной глазури, созданная на базе 3D-модели

Для создания ЦД могут также использоваться разные технологии и их сочетания, в том числе цифровое проектирование и моделирование, большие данные, искусственный интеллект, дополненная и виртуальная реальности, беспроводная связь, промышленный интернет вещей и другие.

Понятие «изделие», выпускаемое промышленным производством

Одним из ведущих секторов пищевой промышленности является кондитерская отрасль, которая тесно взаимосвязана со всеми другими ведущими пищевыми отраслями, так как обеспечивает их устойчивое функционирование, наполнение потребительского рынка, и является основой развития промышленности РФ. В кондитерской промышленности преобладает дискретный тип производства, то есть производство отдельных изделий, таких как плиточный шоколад, халва, драже, ирис и др. Оценить и гарантировать качество этих изделий помогают существующие государственные стандарты на данные виды изделий.

Преимущества внедрение цифровых двойников в производство кондитерских продуктов дает возможность:

- прогнозировать результаты слишком дорогих или сложных изменений с помощью виртуальных датчиков;
- тестировать сценарии «что, если...?» для изменений в процессах кондитерского производства;

- оптимизировать производство на этапе проектирования новых производственных линий и сравнивать оптимальную производительность с фактической;
- анализировать состояние оборудования и предупреждать конец срока их службы.

5.3.2. Цифровой двойник изделия: технологии разработки

Сегодня в высокотехнологичных компаниях, при создании изделий основная доля изменений сосредоточена на стадии разработки, где закладываются их ключевые преимущества и учитываются требования последующих стадий жизненного цикла. Применение такого подхода позволяет сократить количество изменений, вносимых в конструкцию при испытаниях опытных образцов линий производства, а, соответственно, повышается скорость их вывода на рынок.

Это стало возможным, благодаря стремительному развитию и внедрению передовых цифровых и производственных технологий, среди которых ключевую роль играют технологии цифрового проектирования и моделирования, понимаемые как совокупность следующих технологий:

- математического моделирования, компьютерного и суперкомпьютерного инжиниринга и оптимизации (Computer-Aided Optimization, CAO)
- подготовка процессов производства, ориентированных на моделирование ТП аддитивного производства (Additive Manufacturing, CAAM). CAAM-системы — специализированные программные системы;
- бионического дизайна (Simulation & Optimization) — процесс проектирования и производства в кратчайшие сроки с использованием инженерных решений - напоминают структуры, встречающиеся в живой природе.

Ключевые компоненты разработки цифрового двойника изделия

В процессе разработки ЦД изделия применяются «лучшие в классе» технологии. В случае, если при объединении технологий появится технология, не отвечающая мировому уровню, не являющейся лучшей для решения рассматриваемого класса задач, то, общий уровень изделия снизится.

Среди представленных выше технологий важная роль принадлежит имитационному моделированию, так как с помощью имитационных моделей можно описать изделие и его поведение в различных условиях. А это, в свою очередь, обеспечивает достижение предъявляемых к изделию требований по прочности, экономичности, безопасности, комфортности, экологичности и т.д.

Имитационное моделирование позволяет на практике решать трехмерные динамические задачи для сложных изделий, добиваясь при этом требуемой точности инженерных расчетов.

Системный инжиниринг, MBSE-подход

В настоящий момент наблюдается стремительный рост сложности создаваемых изделий, в состав которых входит большое число различных компонентов. При создании подобных изделий их уже нужно рассматривать в виде систем.

Разработка сложных систем с применением цифровых двойников требует поиска сбалансированного соотношения между заданными требованиями и ограничениями, целевыми показателями, рабочими характеристиками и другими параметрами изделия и определения наиболее оптимальных вариантов конструкции на самых ранних стадиях разработки, еще до проведения реальных испытаний образцов изделий (прототипов); взаимосвязи большого количества параметров и учёта параметров этих моделей. Поэтому особенно высокую значимость приобретают подходы и методы, позволяющие в каждый момент времени держать в поле зрения всю систему в целом и все её взаимодействующие между собой компоненты.

Для разработки сложных инновационных изделий (систем), состоящих из различных компонентов, в настоящее время широко применяются методы системного инжиниринга, в основе которого лежат компьютерные модели и моделирование, а не документация и статические 2D-чертежи. То есть для каждого компонента разрабатываемого изделия создается своя модель. Модели взаимоувязаны между собой. Для данной методологии используется термин «модельно-ориентированный системный инжиниринг», который «отвечая за всю картину в

целом», позволяет обеспечивать и контролировать выполнение требований к продукции на протяжении всего жизненного цикла изделия. Другими словами, позволяет в любой момент времени в процессе разработки «держать в поле зрения» всю систему и все её взаимодействующие между собой подсистемы, чтобы не проходили незамеченными ситуации, когда в процессе разработки:

- улучшение одних характеристик влечёт значительное ухудшение других, не менее важных, характеристик или для всей системы в целом;
- улучшение характеристик одной подсистемы / компонента влечёт ухудшение характеристик другой подсистемы / компонента или тех или иных эксплуатационных режимов;
- улучшение характеристик на одном режиме работы влечёт ухудшение характеристик на другом режиме.

Это особенно важно, поскольку известно, что в конечном итоге уровень конкурентоспособности изделия определяется его наиболее «слабыми» компонентами.

Многоуровневая система требований.

Конкурентоспособное изделие должно удовлетворять ряду требований, установленных в техническом задании. Некоторые требования могут друг другу противоречить. В процессе разработки изделие раскладывается на подсистемы и компоненты, выполняющие определенные функции, которые необходимо количественно описать с помощью целевых показателей.

Инструментом учета требований, целевых показателей, а также ресурсных ограничений является многоуровневая система требований. Наиболее удобным форматом ее оформления может быть матрица требований и целевых показателей. По мере детализации требований на целевые показатели происходит наполнение и последовательное формирование матрицы.

Матрица требований и целевых показателей должна обеспечивать возможность не только отслеживать взаимное влияние элементов или нарушение тех

или иных ограничений, но и позволять в кратчайшие сроки вносить необходимые изменения и уточнения — осуществлять оперативное «управление требованиями и изменениями» в процессе реализации проекта.

Цифровые (виртуальные) испытания

Для проверки взаимного влияния одних подсистем и компонентов на другие осуществляются цифровые (виртуальные) испытания на цифровых (виртуальных) испытательных стендах и полигонах. В процессе разработки цифрового двойника изделия необходимо выполнить, как правило, десятки тысяч цифровых испытаний (фактически «вычислительных экспериментов») материалов, подсистем и компонентов, причём, как показывает опыт, количество цифровых испытаний примерно соответствует количеству требований и целевых показателей, представленных в матрице.

В результате проверки можно понять, достигнуты ли диапазоны значений, установленные для целевых показателей, и есть ли между ними противоречия. При необходимости в систему и ее элементы вносятся изменения. После чего изменения вновь проверяются в ходе цифровых испытаний и анализируются разработчиками. В свою очередь, разработка в этом случае фактически сводится к обоснованному снятию противоречий, поиску компромиссных решений между целевыми показателями.

В ходе цифровых испытаний генерируются полезные данные. Эти данные анализируются на предмет удовлетворения требований к изделию, каталогизируются и заносятся в базу данных. Они используются как в рамках разработки изделия, так и для создания нескольких вариантов изделия с характеристиками, превосходящими те, что были установлены в ТЗ, или сохраняются в виде научно-технического задела для дальнейшего использования в аналогичных проектах и при решении аналогичных задач в процессе разработки других изделий.

Кроме того, в процессе разработки цифрового двойника изделия данные, полученные в ходе изготовления и испытания опытного образца, также анализируют с учетом целевых показателей многоуровневой системы требований.

Программно-технологическая платформа цифровых двойников.

Для анализа большого объема данных используется программно-технологическая платформа цифровых двойников, которая включает, как правило:

- средства управления программным обеспечением компьютерного моделирования;
- средства управления проектами;
- средства сбора, обработки, анализа, визуализации, каталогизации, хранения, передачи компьютерных моделей и результатов компьютерного моделирования;
- средства отслеживания всех изменений конструкторских, технологических решений и модификации компьютерных моделей и вариантов инженерных расчетов;
- средства оформления результатов;
- средства защиты данных и организации совместной работы участников проекта в соответствии с правами доступа;
- средства компьютерного моделирования для планирования применения изделия по назначению, поддержки его технического обслуживания и ремонта.

Также с помощью цифровой платформы создается и поддерживается в актуальном состоянии цифровая модель изделия. При этом образуется цифровой двойник изделия.

5.3.3. Анализ подходов к созданию цифровых двойников производства кондитерских изделий

Развитие ЭВМ способствовало трансформации основных подходов к моделированию и переносу некоторых этапов моделирования в цифровую (компьютерную, виртуальную) среду.

Необходимость использования моделей, в первую очередь математических, определяется возможностью решения с их помощью сложных инженерных задач, прогнозирования и оптимизации поведения объектов. В настоящее время

созданное специальное математическое и программное обеспечение способствует тому, что моделирование становится профессиональным инструментом для инженерных расчетов.

Для решения математической задачи численными методами применяется алгоритм, который, как правило, реализуется на компьютере с применением технологий компьютерного и суперкомпьютерного инжиниринга (то есть специализированного ПО). Внутри такого ПО содержится модуль – решатель, который отвечает за решение исследуемых уравнений на основе численных методов.

Следовательно, при проведении математического моделирования на ЭВМ взаимодействие исследователя напрямую происходит не с математической моделью объекта моделирования, а с вычислительной моделью в компьютерной среде, которая имеет несколько иные свойства в сравнении с исходной математической моделью. Процесс построения данной модели имеет несколько последовательных этапов. Схематично этапы создания математической модели на ЭВМ представлены на рисунке 5.2.

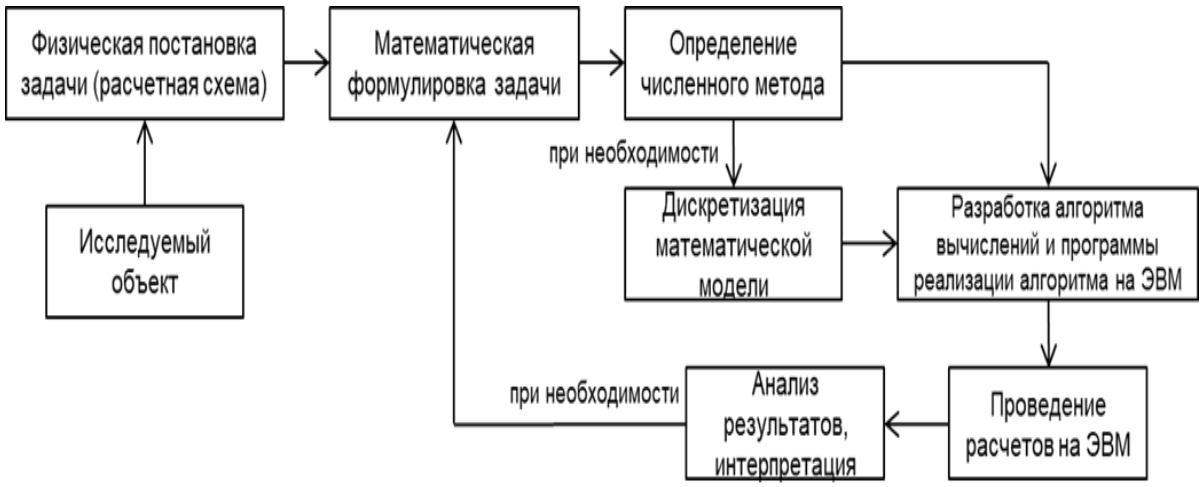


Рисунок 5.2 - Этапы создания математической модели на ЭВМ

Соответственно, до широкого распространения компьютерного моделирования алгоритм проведения математического моделирования (технологический цикл) на ЭВМ в общем виде включал следующие этапы (укрупненно):

1. Физическая и математическая формулировка задачи (создание расчетной схемы, построение математической модели изучаемого явления или объекта).

2. Разработка вычислительного алгоритма решения задачи, реализация алгоритма в виде программы для ЭВМ;

3. Проведение расчетов на ЭВМ;

4. Обработка, анализ, визуализация и интерпретация результатов расчетов, сопоставление с физическим экспериментом, и в случае необходимости, уточнение или пересмотр математической модели, то есть возвращение к первому этапу и повторение цикла.

Исследователь, выполняющий решение данной задачи, участвует на каждом этапе технологического цикла. Так, первый этап включает постановку задачи, то есть содержательную (физическую и математическую) формулировку задачи и определение конечных целей решения.

Моделирование реальной конструкции начинается с построения расчетной схемы. Она представляет собой упрощенную идеализированную схему, которая отражает только те наиболее существенные особенности объекта и действующие на него нагрузки, которые имеют отношение к решению рассматриваемой задачи и определяют его поведение под нагрузкой.

Иными словами, это освобождение реального объекта от несущественных особенностей, которые не влияют на работу системы для конкретного случая. В зависимости от постановки задачи и требуемой точности ее решения для одной и той же конструкции может быть предложено несколько расчетных схем. И наоборот, одна расчетная схема может соответствовать различным конструкциям.

Математическая постановка задачи означает создание математической модели объекта. Особо стоит отметить, что существующие возможности ЭВМ способны проводить машинные вычисления исключительно с числами, имеющими конечный набор значащих цифр.

Имеется еще один нюанс. Математическая модель может быть дискретной по одной переменной и непрерывной по другой. В этом случае необходимо провести дискретизацию, но уже не по пространству, а по времени.

Следующим этапом после математической формулировки задачи выступает поиск или разработка численного метода решения поставленной задачи, который позволит перевести задачу от математической формулировки к некоторому вычислительному алгоритму. Расчеты на ЭВМ предполагают запись этого алгоритма в виде точно определенной последовательности логических и арифметических операций – программы – и ее последующий перевод на машинный язык. На ЭВМ проводится серия расчетов, в результате чего инженер получает массивы чисел, описывающих поведение объекта, то есть представляющих решение задачи. На завершающем этапе проводится анализ результатов, который позволяет оценить, удачно ли сформулирована математическая модель, удачно ли выбран вычислительный алгоритм. Анализ полученных расчетных данных и сравнение с реальным объектом зачастую свидетельствует, что необходимо учитывать некоторые дополнительные физические факторы при моделировании. Это требует создания новой математической модели (уточнения предыдущей), для которой повторяется вычислительный цикл на более совершенной основе.

Таким образом, вычисления на ЭВМ позволяют проводить изучение, прогнозирование, оптимизацию сложных многопараметрических нелинейных процессов, теоретическое и экспериментальное исследование которых традиционными методами затруднено или невозможно.

Однако возникает проблема реализации вычислительного алгоритма в виде программы для ЭВМ. Для каждой модели необходимо рассчитывать большое число вариантов для разных параметров задачи и параллельно изменять и уточнять математическую модель. Возникновение «многовариантности» каждой модели при этом требует изменений в алгоритме программных комплексов и систем, среди которых системы CAD/CAM/CAE, содержащие компьютерное моделирование в качестве основополагающего инструмента вычислений.

Специальные пакеты прикладных программ, как правило, имеют модульную архитектуру и состоят из большого числа подпрограмм, описывающих те или иные алгоритмы. Так, использование прикладных программных средств при

решении конкретной задачи позволяют опустить некоторые этапы алгоритма. Фактически, программные системы позволяют инженерам применять различные математические модели и расчетные схемы, выбирать различные вычислительные алгоритмы и делать это эффективно. Исследователю достаточно передавать программе постановку задачи (расчетную схему) или ее математическую модель при наличии, а также исходные данные, то есть участвовать на этапе физической и математической постановки задачи. При этом выбор метода, проведение расчетов (в том числе дискретизация), выдачу в той или иной форме численных результатов и их визуализацию программное средство способно осуществить в автоматизированном режиме. Такое повышение «интеллектуальных» возможностей программных средств продолжает способствовать увеличению доли компьютерных вычислений при решении научно-технических задач. Другими словами, многие численные методы, математические модели, расчетные схемы, вычислительные алгоритмы разрабатываются инженерами заранее и затем интегрируются в готовом виде разработчиками в программные системы.

Таким образом, с развитием программных средств алгоритм математического и компьютерного моделирования трансформировался, но последовательность действий сохранилась, появились автоматизированные процедуры, выполнение которых эффективно проводит программное обеспечение. Этапы создания компьютерной модели на ЭВМ представлены на рисунке 5.3.

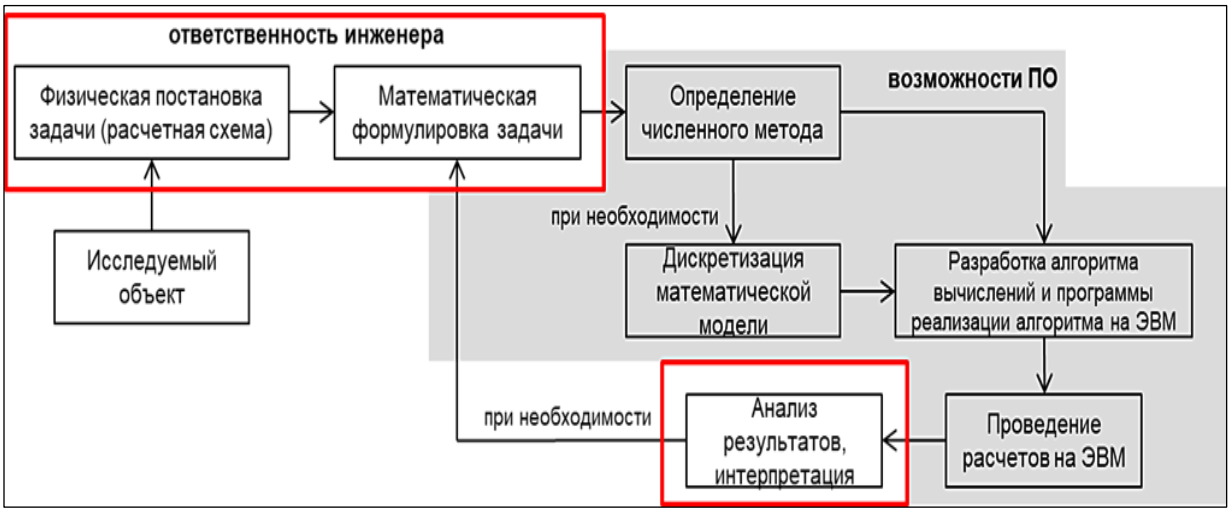


Рисунок 5.3 - Схема получения компьютерной модели на ЭВМ

Математическая модель трансформируется в компьютерную, которую инженер в конечном итоге получает при окончании цикла расчетов.

Расширение технических возможностей позволяет решать количественно более сложные задачи. В связи с этим компьютерное моделирование становится одним из основных инструментов для проведения исследований ТП производства кондитерской продукции, поскольку это сложные процессы и системы.

5.3.4. Примеры применения цифровых двойников на разных этапах жизненного цикла производства кондитерских изделий

Использование ЦД производства кондитерской продукции осуществляется как на стадии их производства, так и на стадиях предпроектных исследований (включая проектирование этой продукции). При производстве это дает возможность прогнозировать последствия тех или иных режимов работы оборудования или решений по управлению работой этой линией производства.

Одно из главных направлений науки - это прогнозирования качества производимой продукции с учетом текущего состояния исследуемого производства. Существующие ГОСТы на определение качества вырабатываемой кондитерской продукции, подробно приведенные в 1 главе настоящего исследования, описывают нормативные показатели качества, которые должны бать обязательно в течении всех этапов производства этих изделий. В нашей работе [52] показано, что качество готовой кондитерской продукции определяется множеством факторов, подробно описанных и проанализированных в 1, 3 и 4 главах настоящей работы.

Анализ проведенных исследований позволил выявь и отследить на базе ЦД динамику изменения показателей качества, как сырья, полуфабрикатов, так иготовой продукции без демонтажа и разборки устройств АСУТП, чему, в частности, и посвящена данная глава диссертации. Систематизация современных систем мониторинга и диагностики производства кондитерских изделий, а также тенденции их развития подробно описаны в наших статьях [25 - 59].

Мониторинг и диагностирование ТП производства кондитерской продукции связаны не с прогнозными моделями, а с стрктурно- параметрическим (СП), математическим и имитационным моделированием всех этапов исследуемого производства. Эти модели строились на знаниях о свойствах производимых изделий и физики протекающих ТП. Как показывает опыт, разброс характеристик используемого при производстве сырья очень большой. Поэтому полученные в 4 главе СП, математические, ситуационные и имитационные модели будут корректироваться по результатам натурных экспериментальных исследований производства конкретного кондитерского изделия. Именно в этом случае они приобретают статус ЦД.

Цифровые двойники в производстве кондитерских изделий представляют собой цифровые аналоги реальных объектов или процессов и активно интегрируются на различных этапах жизненного цикла продукции. На стадии исследования и разработки они служат мощным инструментом для виртуализации процесса тестирования рецептур, новых кондитерских изделий, новых ТП и производств. Это предоставляет возможность быстрой оценки комбинаций ингредиентов, определения оптимальных параметров ТП и моделирования потребительских характеристик нового готового продукта.

При планировании производства, цифровой двойник способен анализировать и оптимизировать производственные мощности. Это позволяет предвидеть потребности в ресурсах, определять уровень загрузки оборудования и выявлять потенциальные проблемные зоны. Так, можно заранее настроить свои стратегии, оптимизируя ресурсы. В фазе производства ЦД становится незаменимым помощником, позволяя мониторить каждую деталь процесса в реальном времени. Отслеживая такие параметры как температура, влажность или скорость перемешивания, система способна автоматически корректировать процесс, обеспечивая, таким образом, стабильное качество продукции.

На этапе логистики и распределения, ЦД обеспечивают прозрачность всего процесса, следя за продукцией от момента её создания до момента попадания к

конечному потребителю. Это, в свою очередь, помогает оптимизировать уровни запасов, уменьшать потери и ускорять доставку.

Кроме того, сбор и анализ данных о реальном потреблении продукции в процессе её эксплуатации позволяют ЦД предсказать будущий спрос и выявлять возможные проблемы с качеством. И, наконец, когда продукция достигает конца своего жизненного цикла, ЦД могут обеспечивать информацией о составе изделия, что способствует эффективной их утилизации и переработке. Разработка ЦД способствует снижению затрат и улучшению качества выпускаемой продукции.

5.4. Научная база создания ЦД производства кондитерских изделий

Для создания конкурентоспособной кондитерской продукции нового поколения нами изучены и представлены ключевые компоненты технологии проектирования цифровых двойников.

На рисунке 5.4 представлена общая схема исследований по разработке научных основ для создания ЦД производства кондитерских изделий.

Проработаны технологии мирового уровня для их использования при создании ЦД, подходы и методики системного инжиниринга MBSE проектирования (моделе-ориентированное проектирование), создания и эксплуатации линий производства кондитерских изделий, многоуровневая матрица требований и ресурсных ограничений с учетом специфики кондитерского производства, а также необходимая для создания ЦД база для валидации виртуальных испытаний разрабатываемых моделей.

ЦД должен реализовывать возможность прогноза оценки качества получаемых готовых кондитерских изделий путем сравнения показателей, получаемых на основе ЦД с результатами непосредственных физических измерений в контрольных точках процесса производства этой продукции.
А результаты вычислений будут использованы в алгоритмах управления объектом автоматизации и в ИАСКиУК для обеспечения безопасного, надежного и эффективного функционирования линии производства кондитерских изделий.

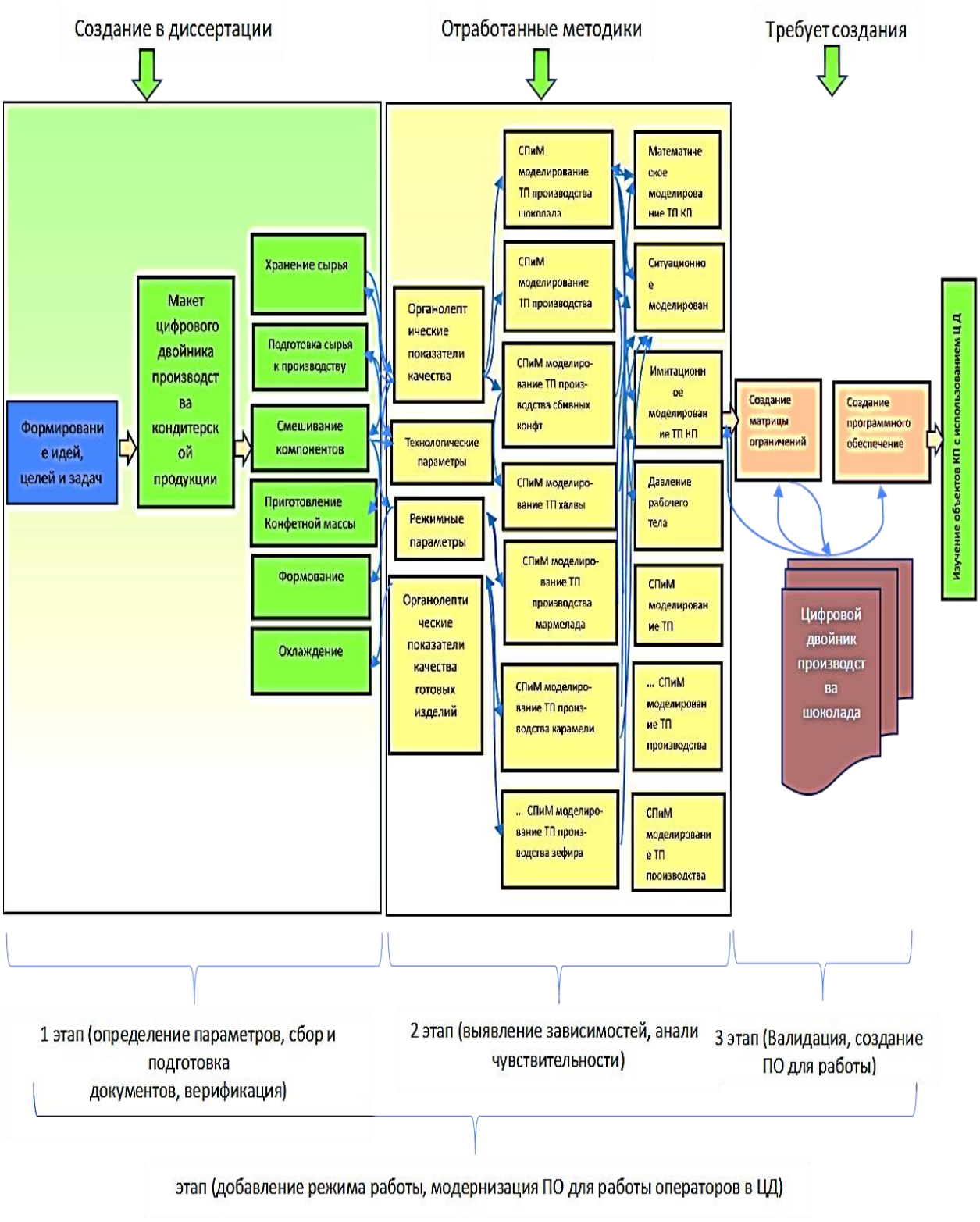


Рисунок 5.4 - Общая схема исследований по разработке научных основ для создания ЦД производства кондитерских изделий

Технологии мирового уровня «Лучшие в классе»

В процессе разработки цифрового двойника ТП производства кондитерской продукции применялись «лучшие в классе» («Best-in-class») технологии. К таким технологиям относятся:

• Структурно-параметрические, математические, ситуационные и мультиагентные модели, обеспечивающие достижение предъявляемых к линиям производства кондитерской продукции требований по высокому качеству выпускаемых готовых изделий.

• Аддитивные технологии, используемые при изготовлении основных элементов линий производства кондитерской продукции (3D модель линии).

• И другие, подробно описанные во второй главе настоящей работы.

Системный инжиниринг, методология MBSE

Модельно-ориентированный системный инжиниринг MBSE (Model-Based Systems Engineering), позволяет обеспечивать и контролировать выполнение требований по качеству к готовым кондитерским изделиям на протяжении всего цикла производства этих изделий. В качестве инструментов MBSE могут использоваться – структурно-параметрическое, математическое, ситуационное и мультиагентное имитационное моделирование. В таблице 5.1. представлена карта инструментов, рекомендуемых для моделирования. Также было проведено сравнение преимуществ и недостатков этих инструментов (таблица 5.2).

Таблица 5.1

Карта инструментов, рекомендуемых для моделирования

Обл. моделирования / Инструмент	Хранение сырья	Подготовка сырья к производству КП	Смешивание рецептурных компонентов	Приготовление конфетной массы	Формование и охлаждение
Структурно-параметрическое моделирование	+	+	+	+	+
Математическое моделирование	+	+	+	+	+
Ситуационное моделирование	+	+	+	+	+
Имитационное моделирование	+	+	+	+	+

Таблица 5.2

Сравнение основных инструментов моделирования

№	Тип инструмента	Применение	Преимущества	Недостатки
1.	Структурно-параметрическое моделирование	Универсальное, может применяться для любых процессов	Способность учитывать различные аспекты, включая внешнюю среду	Невозможность предсказания событий
2.	Математическое моделирование	Универсальное практическое применение, может применяться для создания виртуальных моделей систем, для тестирования различных гипотез, проведения экспериментов анализа данных.	Позволяет выделить для исследования наиболее важные свойства объекта, абстрагируясь от несущественных его сложных характеристик. Позволяет сформулировать новые гипотезы и получить новые знания об объекте.	Сложно построить модель адекватно учитывающую все факторы. Высокая вычислительная сложность.
3.	Ситуационное моделирование	Построение любых ситуаций, описание всех процессов так, как они протекали бы в реальных условиях.	Возможность применения для разного типа производственных процессов: дискретных, дискретно-непрерывных, непрерывных.	Сложность построения. Высокая вычислительная сложность.
4.	Имитационное моделирование	Это компьютерная программа, описывающая конструкцию воссоздающая поведение реальной системы на протяжении определенного времени. Используют, когда дорого или невозможно экспериментировать на реальном объекте.	Наглядность, универсальность. Возможность изобразить конструкцию системы и её процессы в непосредственном виде, избегая применения математических зависимостей. Наглядность. Способность визуализировать процессы работы системы, схематично изобразить её структуру и преподнести в графическом виде результаты.	Нет каких-то определённых стандартов. На создание имитационной модели может потребоваться много времени и сил. Не имеет такой высокой точности, как математическое моделирование, поскольку основано на генерации случайных чисел.

В общем виде жизненный цикл (ЖЦ) произведенного кондитерского изделия в процессе производства представляет собой этапы производства этой продукции. Каждый из этапов ЖЦ производства характеризуется своими входными

и выходными критериями, а также временными отметками начала и окончания выполнения соответствующих этапов.

Многоуровневая матрица требований и ресурсных ограничений

Для систематизации требований и ограничений рекомендуется пользоваться разработанной нами V-образной диаграммой создания ЦД процессов производства кондитерских издели (рисунок 5.5) с помощью ограничений диапазона изменения основных технологических, режимных параметров, а также показателей качества конкретных кондитерских изделий.

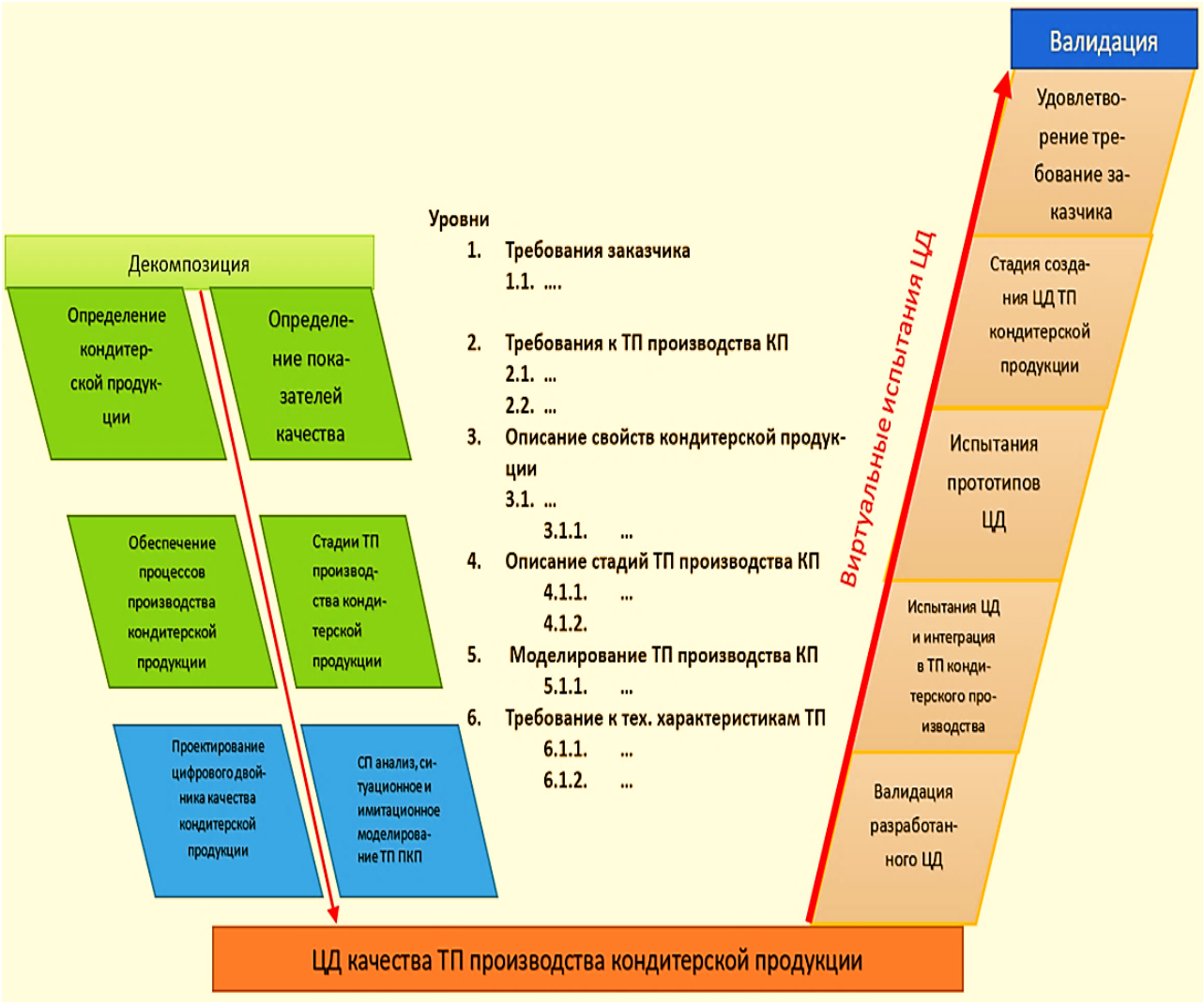


Рисунок 5.5 -V- образная диаграмма создания ЦД качества производства кондитерской продукции

Конкурентоспособное кондитерское изделие должно удовлетворять ряду требований, установленных в соответствующем ГОСТе. В процессе разработки

ЦД ТП производства кондитерской продукции раскладывается на подсистемы (стадии) и компоненты, выполняющие определенные функции, которые необходимо количественно описать с помощью технологических и режимных параметров исследуемых процессов.

Полученные данные заносятся в таблицу, где отмечается соответствие или конфликт внесенных данных. Например, требования заказчика по максимально эффективному производству шоколада с применением 100% какао масла и минимальной стоимости изделий имеют общий конфликт (противоречие).

Таким образом, базовой частью ЦД качества исследуемх процессов будет иерархическая 3D модель комплекса органолептических показателей качества каждого из этих изделий с возможной переменной глубиной детализации каждого показателя как отдельного самостоятельного элемента, которые интегрированы в готовое кондитерское изделие; описаны моделями, интерпретирующими зависимость контролируемых выходных параметров от входных и режимных параметров. ЦД должен быть самостоятельным инструментом анализа и представлен единой системой взаимоувязанных математических зависимостей.

Визуализация ЦД должна быть выполнена в следующем исполнении: интерфейс + функциональная 1D модель + иерархические 3D модели (для отдельных процессов или стадий) производства кондитерских изделий.

ЦД должен обеспечивать расчет параметров, подлежащих контролю и используемых в алгоритмах управления объектами со стороны САУ и эксплуатационного персонала. Структура ЦД должна однозначно описывать состав и взаимосвязи объектов моделирования, которые составляют линию производства каждого кондитерского изделия в целом. Каждый составной объект (этап или стадия) моделирования представляет собой локальную модель, которая должна однозначно описывать протекающие ТП в конкретном производстве.

Каждая стадия ТП производства определенной кондитерской продукции должна быть описана набором функций, соответствующих цели его применения.

ЦД должен быть построен таким образом, чтобы была возможность детализирования и видоизменения с помощью добавления или удаления составных объектов моделирования (этапов или стадий производства), т.е. возможность реализовывать принцип гибкости и способности подстраиваться под любой запрос потребителя с определенными доработками с учетом различного набора этапов ТП производства и выполняемых функций.

Требования к ЦД качества ТП производства кондитерской продукции

В ЦД ТП производства кондитерской продукции должны учитываться базовые процессы подготовки сырья к производству, преобразование сырья, полуфабрикатов до готовых кондитерских изделий. При этом должно обеспечиваться формирование статистических данных по изменению органолептических показателей качества на эксплуатационном этапе жизненного цикла производства кондитерских изделий (на всех стадиях). Перечень входных/выходных параметров кондитерской продукции определён в четвертой главе данной работы.

Значения технологических и режимных параметров поступают в ЦД ТП производства кондитерских изделий с первичных преобразователей физических величин, получаемые автоматически с датчиков, а значения органолептических показателей качества поступают с лабораторий кондитерских предприятий.

Обобщая вышеуказанные требования к ЦД качества процессов производства кондитерских изделий, наиболее удобным инструментом учета требований, целевых показателей, а также ресурсных ограничений является многоуровневая система требований. Форматом ее оформления может быть матрица требований и целевых показателей (Desing Structure Matrix). По мере детализации требований к целевым показателям происходит наполнение и последовательное формирование матрицы.

База для валидации разрабатываемых моделей.

Валидация разработанных моделей должна включать следующие процессы: подтверждение соответствия параметров моделей и объектов моделиро-

вания производства кондитерской продукции с учетом подобия процессов и характеристик всех этапов исследуемого производства; подтверждение воспроизводимости и повторяемости (стабильные результаты эксперимента при различных входных условиях) параметров объекта моделирования; проверка адекватности разработанных моделей ТП производства кондитерской продукции реальному производству; валидация полученных данных от разработанных моделей ЦД ТП производства кондитерской продукции (рисунок 5.6).

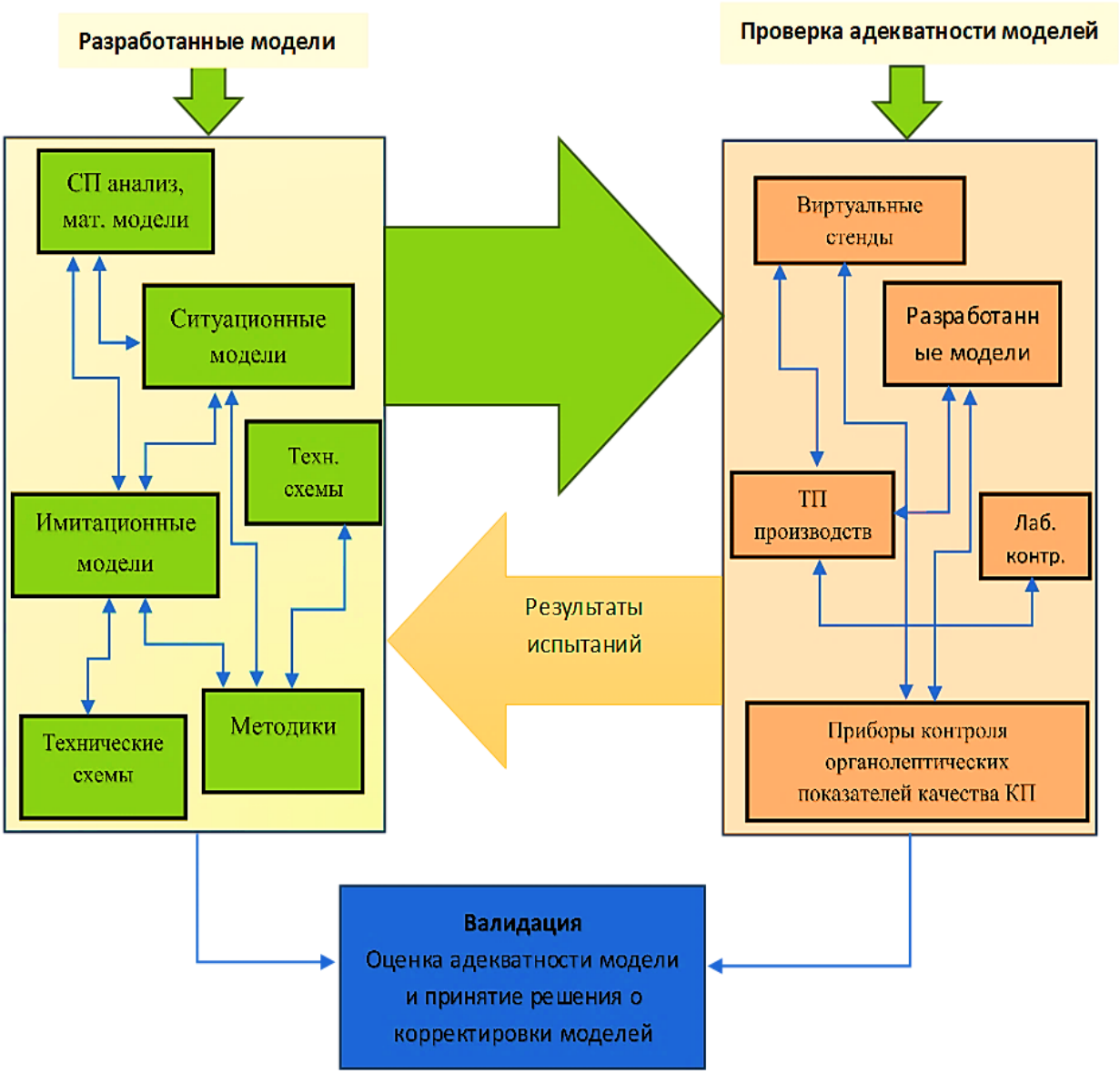


Рисунок 5.6 - Схема валидации разработанных моделей ЦД ТП производства кондитерских изделий

5.5. Применение разработанного комплекса инструментальных средств для создания ЦД процессов производства кондитерской продукции (на примере линии производства шоколада)

5.5.1. Постановка задачи

В рассматриваемой для примера задаче объектом создания ЦД является процесс производства шоколада. Шоколад является одним из самых популярных лакомств в мире, к которому предъявляются высокие требования со стороны потребителей [18]. Любые дефекты, будь то вкус, запах, текстура или внешний вид, могут существенно повлиять на восприятие бренда и лояльность покупателя [11].Для производства современных видов шоколада; шоколадных конфет, глазированных шоколадом вафель; печенья предприятия должны получать высококачественный продукт – шоколадные массы. И любые отклонения могут привести к убыткам для производителя, как из-за возвратов товара, так и из-за потери репутации [121, 222]. Поэтому процесс производства шоколада является важнейшим в производстве кондитерской продукции. Бракованный шоколад не только может вызвать разочарование у потребителей, но и стать причиной дополнительных затрат для производителей, связанных с возвратами, переработкой и потерей продукта [136, 170].

Как отмечалось в 1 главе данной работы (раздел 1.2., п.1.2.1) традиционные средства контроля качества шоколада, основанные на органолептических методах осмотра или примитивных лабораторных средствах, могут не выявить все дефекты или быть неэффективными с точки зрения затрат времени и ресурсов [25, 31, 49, 60, 61, 190, 195]. В современном мире, где производственные процессы становятся все более автоматизированными и высокотехнологичными разработка ЦД ТП производства шоколада с использованием высокоэффективных интеллектуальных технологий представляет собой оптимальный инструмент для цифровизации процессов производства кондитерской продукции, поскольку может существенно улучшить качество выпускаемых изделий, точность и скорость выявления дефектов, отследив все возможные сбои еще до старта.

5.5.2. Функциональные возможности цифрового двойника

Как было отмечено ранее в нашей работе, актуальность темы цифровых двойников обусловлена современными тенденциями цифровой трансформации кондитерской промышленности. На сегодняшний момент это наиболее эффективная стратегия, позволяющая повышать конкурентную способность предприятий и переходить к более высокотехнологичным производствам.

Цифровой двойник ТП производства шоколада - это виртуальная копия линии производства, созданная на основе данных, собранных с использованием цифровых технологий, таких как приборы контроля, сенсоры, видеокамеры, виртуальные приборы и т.д. Используемые технологии позволяют смоделировать ТП производства шоколада в виртуальной среде.

При разработке ЦД необходимо учитывать особенности ТП производства шоколада, которые во многом связаны с не стационарностью свойств используемого сырья, получаемых полуфабрикатов и готовых кондитерских изделий.

Перечень таких свойств заранее неизвестен и изменяется в процессе функционирования системы производства. При разработке ЦД ТП производства шоколада должны учитываться также и такие моменты, как: после проведения контроля органолептических показателей качества дальнейшее выполнение процесса может потребовать задержки выполнения операций для устранения замечаний (в том числе выполнение операций по доработке) , после которой следует дальнейшее выполнение операций, или списание полученного изделия в брак; возможно изменение продолжительности выполнения работ за счет изменения количества одновременно работающих специалистов; рецептурное сырье для выполнения операций поступают со склада или с буферов- накопителей; доставка сырья и необходимых для производства рецептурных компонентов осуществляется по мере необходимости.

В качестве критериев рассматриваем следующие: максимальные показатели качества всех органолептических показателей шоколада; минимальная задержка выпуска готовых изделий шоколада; минимальное количество используемых ресурсов (персонала, приборов, оборудования и т.д.).

ЦД процессов производства шоколада позволяет смоделировать работу ТП производства шоколада в виртуальной среде и предназначен для решения следующих функциональных задач:

1. Оценка и прогноз показателей качества готовых изделий шоколада при заданных производственных ресурсах.

2.Трассировка и контроль качества: цифровые двойники могут быть использованы для отслеживания происхождения продукции, а также для контроля качества сырья и полуфабрикатов на каждом этапе производства.

3. Разработанная виртуальная модель ЦД позволяет предвидеть и устранять возможные проблемы, а также оптимизировать производственные цепочки.

4. Разработанная виртуальная модель ЦД позволяет проводить мониторинг состояния и обслуживания оборудования.

5. Быстрое проведение тестовых запусков ТП производства шоколада без существенных материальных затрат.

6. Прогнозирование и быстрое обнаружение проблемы или уязвимости ТП производства шоколада до запуска производства, что позволяет повысить эффективность процессов, отследив все сбои еще до старта.

7. Тестирование новых сортов шоколада, оптимизация их дизайна. Снижение рисков, в том числе финансовых, а также связанных с безопасностью для жизни и здоровья покупателей и персонала.

8. Долгосрочное прогнозирование и планирование развития производства шоколада на годы вперед за счет равномерной или максимальной загрузки ресурсов, оптимизации производственных процессов.

9. Повышение лояльности заказчиков за счет точного прогнозирования спроса и потребительских качеств шоколада.

10. Интеграция с другими технологиями: цифровые двойники могут быть легко интегрированы с другими технологическими решениями, такими как IoT, блокчейн и другие, что делает процессы еще более эффективными.

Система ЦД должна накапливать данные обо всех свойствах шоколада. Имеющаяся информация должна обогащаться в ходе работы кондитерского предприятия и использоваться при принятии решений.

Разработанная система ЦД должна быть встроена в уже существующую интегрированную систему управления кондитерского предприятия, не заменив существующие сервисы, а лишь расширив их возможности.

5.5.3. База для описания цифрового двойника в рамках единой технологической системы управления производством шоколада сиспользованием формата AUTOMATIONML

Отмечаемая в 4 главе (раздел 4.1.3) адаптивность процесса производства шоколада и управление им на всех этапах жизненного цикла является несомненным конкурентным преимуществом современного предприятия. Особая важность при этом уделяется интеграции данных на всех этапах жизненного цикла ТП этого производства. Без интеграции данных и идентификации устройств в инженерных системах количество ошибок и скорость внедрения\перенастройки систем контроля и управления существенно увеличивается [52].

Примером интеграции данных на уровне тестируемой виртуальной модели является подход, при котором создается ЦД реального производственного процесса производства шоколада. Данный подход в решении проблемы идентификации ТП и их данных при разработке систем автоматизации строится за счет использования единой платформы для работы с данными. На практике такие решения приобретают свою дополнительную ценность за счет поддержания двухстороннего обмена данными и возможностей интеграции их между собой для создания единого массива данных. При этом возникает потребность в использовании единого стандарта обмена данными. Наиболее удобным форматом обмена

информацией между различными системами является файл, основанный на расширяемом языке разметки XML. Такой формат хорошо воспринимается человеком. Он основан на международных стандартах, и легко настраивается по требованиям в отношении расширений и изменений функционала. Однако открытость языка XML к изменениям создает сложности при сопоставлении двух массивов данных, созданных в разных инженерных системах.

Это связано с особенностями данного формата, который позволяет создать два необходимых набора стандартизации – синтаксический и семантический. Эти уровни создают необходимую достаточность при настройке обмена данными между инструментами разработки инженерных дисциплин.

Именно такой идеологии придерживается язык разметки AutomationML, основанный на XM [15]. Данное исследование было направлено на проверку гипотезы о возможностях практического применения AutomationML для создания структурированного описания ЦД системы производства шоколада. Описание структуры и данных этого ТП осуществлялось с помощью ПО класса E-CAD.

Нами был рассмотрен стандарт языка AutomationML, определены его требования к структуре данных для включения экземпляров устройств ТП в ЦД системы производства шоколада. Затем была разработана методология проверки гипотезы применения AutomationML для структурирования данных и создания файла обмена данными в блоке управления ТП производства шоколада.

Проведенный нами обзор литературы в этой области показал, что ключевым вопросом в построении Цифрового двойника является определение формата обмена данными между системами, с помощью которых описывается структура и сами данные [52]. Авторы стандарта языка разметки автоматизации AutomationML ставят своей целью распространение и дальнейшее развитие формата данных AutomationML в качестве открытого, нейтрального и бесплатного промышленного стандарта для междисциплинарного обмена данными планирова-

ния для производственных предприятий [75]. Для этой цели они не разрабатывают новый формат данных, а используют существующий формат, который соответствующим образом может быть расширен, адаптирован и объединён.

Таким образом, в данном направлении проводятся исследования возможности отображать данные элементов, оборудования, начиная с топологии их установки, геометрии и кинематической информации, вплоть до процессов и логических зависимостей [112]. Выстраивается гипотеза, что AutomationML является наиболее полным форматом данных для описания цифровых моделей установок. Его использование в промышленности позволяет провести интеграцию компонентов производства и использовать для увеличения объема данных. В настоящее время данный язык стандартизирован на международном уровне как открытый, свободный и основанный на XML стандарт в рамках IEC 62714.

В настоящее время более ста ведущих производителей оборудования и ПО принимают участие в развитии данной технологии и продолжают проводить исследования для актуализации его описания, расширения функционала и востребованности в промышленности. Например, за счет AutomationML, можно обеспечить идентификацию и взаимодействие устройств IIoT в системе, а также обеспечить обмен инженерными данными между ними на всех этапах жизненного цикла системы. При этом инженерная информация может охватить:

- иерархическую структуру объектов системы производства вплоть до единичных экземпляров устройств и механических компонентов, с описанием атрибутов иерархии и их взаимоотношений;
- набор информации по органолептическим показателям качества изделий и ТП, содержащих различное оборудование. Такая информация задается за счет трехмерных чертежей с указанием свойств сырья и готовой продукции;
- представление схемотехнических решений по электрическим или пневматическим данным. Представляется в виде чертежей, содержащих информацию о компонентах, их характеристиках, разъемов, связях и соединениях;

- информацию, относящуюся к функциональным характеристикам и связям компонентов. Содержит технологические и режимные параметры, описывает функциональное поведение модели и производственного процесса;
- необходимые данные по управлению процессом. Связи с устройствами управления, конфигурация оборудования, коды, сигналы, алгоритмы и другие параметры управления;
- дополнительные, не структурированные внешние данные, которые обобщают организационную, техническую и экономическую информацию о системе или о входящих в неё компонентах.

Теоретические работы по описанию и опыт использования языка AutomationML в промышленности [88, 258] показывают состоятельность решений для интеграции данных на различных этапах жизненного цикла системы: от этапа разработки и проектирования до этапа тестирования (в том числе в виде ЦД), ввода в эксплуатацию и дальнейшую модернизацию. В идеологии применения AutomationML лежит потребность в обмене данными между несколькими различными инженерными инструментами. В основе каждого такого инструмента лежит собственная модель данных, ориентированная на основной выполняемый функционал. Примером таких инструментов может быть SCADA система [251], отвечающая за хранение и отображение технологических данных или среда программирования ПЛК, описывающая алгоритмы управления. В основе применения AutomationML находится формат данных верхнего уровня – CAEX. В настоящее время он полностью удовлетворяет потребностям в описании и представлении инженерных данных: описание геометрии и кинематики объектов, представленных с помощью COLLADA; описание логики и управления объектов, представленных по PLCopen XML; описание топологии компонентов и сетевой информации; описание отношений между объектами и внешними документами. В данной идеологии используется объектно-ориентированный подход, при котором интерфейсы между описываемыми объектами определяются с помощью ин-

терфейсов, описанных и назначенных в библиотеках классов интерфейсов. Архитектура AutomationML, показанная на рисунке 5.7, предоставляет 4 основных средства моделирования системы и её элементов.

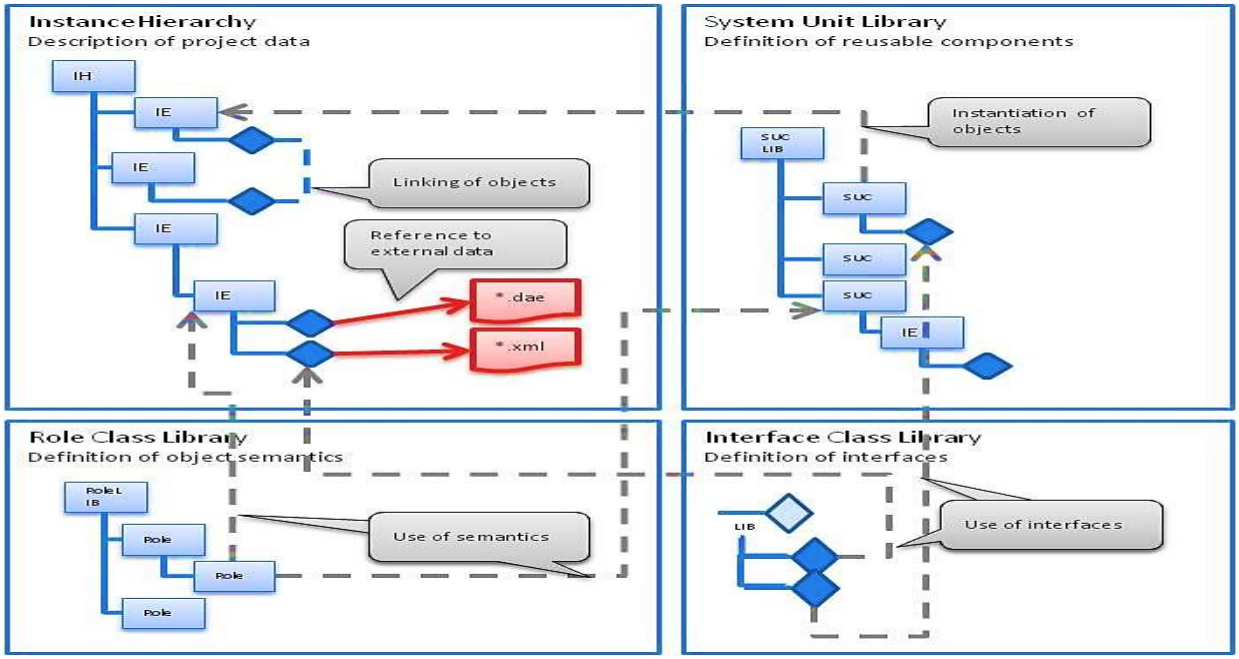


Рисунок 5.7- Архитектура описания топологии AutomationML

Проведенные и описанные в данном разделе исследования, подтверждают гипотезу о том, что язык разметки AutomationML, основанный на стандартном XML может быть использован для структурирования данных и создание файла обмена данными.

Созданный файл для блока управления ТП производства шоколада был загружен в программное обеспечение EPLAN и Ansys, где его данные были однозначно интерпретированы. Таким образом ПО, поддерживающее формат языка разметки AutomationML, может эффективно использоваться для создания и наполнения файла данными об элементах, входящих в систему. Тем самым можно сделать вывод о ом, что язык разметки формата AutomationML решает проблемы интеграции данных между различными стадиями производства шоколада и служит базой для описания ЦД в рамках единой технологической системы контроля и управления.

5.5.4. Применение разработанного комплекса инструментальных средств для создания ЦД процессов производства шоколада

Был реализован ЦД производства шоколада, представленный на рисунке 5.8. Он был создан с использованием современного отечественного програмного обеспечения R-PRO, что позволило добиться высокой степени реалистичности работы ТП производства в цифровом пространстве.

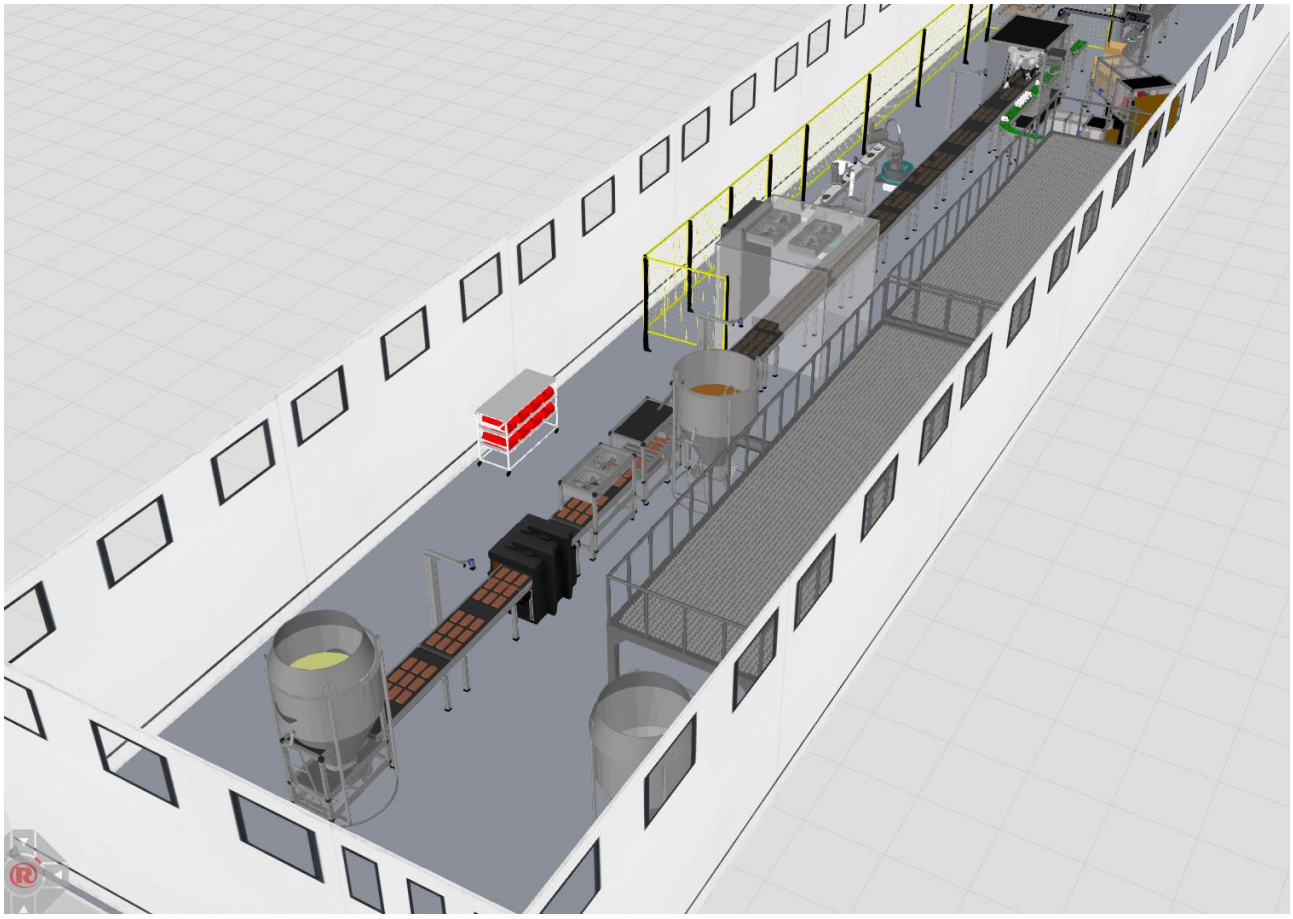


Рисунок 5.8 - Цифровой двойник ТП производства шоколада

Исходными данными для создания цифрового двойника стали параметры реального производственного оборудования, входящего в линию производства шоколада, а также стандарты качества для шоколада и шоколадных изделий, подробно проанализированные в 1 главе данной работы (раздел 1.2.1).

Параметры симуляции включали в себя скорость движения ленты, освещение, а также различные углы и расстояния камер наблюдения от транспортера. Это позволило создать обучающий датасет, который максимально приближен к условиям реального производства и учитывает возможность появления бракованной готовой продукции, что может вызвать разочарование у потребителей и стать причиной дополнительных затрат для производителей, связанных с

возвратами, переработкой и потерей качества. Как отмечалось ранее, традиционные способы контроля качества шоколада, основанные на органолептических методах осмотра и дегустации, могут не выявить все дефекты или быть неэффективными с точки зрения затрат времени и ресурсов [26, 27, 35]. В современном мире, где производственные процессы становятся все более автоматизированными и высокотехнологичными, необходимы использование интеллектуальных технологий для создания надежных методов АК [25].

Отдельный узел цифрового двойника представляет пост визуального контроля, где на регулируемой консольной стойке установлена промышленная камера, ориентированная на поток изделий на прямолинейном участке конвейера сразу после зоны охлаждения и перед участком ограждения, что видно на рисунке 5.9. Такое расположение выбрано для наблюдения за плитками в стабилизированном тепловом состоянии и при равномерном ходе ленты, что снижает вероятность смазов и повышает воспроизводимость измерений. В R-PRO для этой станции заданы параметризуемые геометрические характеристики рабочее расстояние, высота установки, угол наклона оптики относительно поверхности, а также размеры поля зрения, что позволяет покрыть сразу несколько изделий по ширине транспортёра и контролировать как центральные зоны, так и кромки. Виртуальные испытания выполнялись при варьировании частоты кадров, выдержки, апертуры и схем освещения с целью подбора соотношения пикселей на миллиметр, достаточного для уверенного выявления мелких дефектов кромок, микротрещин, загрязнений и изменений блеска. Для исключения влияния динамики конвейера реализована синхронизация съёмки с движением через виртуальный энкодер, что обеспечивает фиксацию кадра при одинаковом положении изделия и даёт стабильную разметку. Проведена внутренняя и внешняя калибровка камеры по плоским мишеням с вычислением матрицы камеры и уточнением ориентации относительно ленты, после чего верифицировано соответствие моделируемого масштаба ре-

альному технологическому размеру объекта контроля. Пост позволяет автоматически генерировать изображение и разметку в формате, совместимом с обучающим конвейером, при этом набор сценариев включает изменения скорости ленты, расстояния и угла до изделия, а также вариации освещённости, что помогает форсировать сложные случаи с бликами и частичными перекрытиями. Наличие защитного ограждения вокруг рабочей зоны в макете отражает реальные требования промышленной безопасности и упрощает последующую интеграцию в АСУ ТП на площадке. В результате получен воспроизводимый участок ЦД, на котором выполняется быстрая настройка параметров оптики и освещения, проверка устойчивости алгоритмов к технологическим возмущениям и формирование репрезентативного датасета для обучения и валидации системы машинного зрения без остановки реального производства.

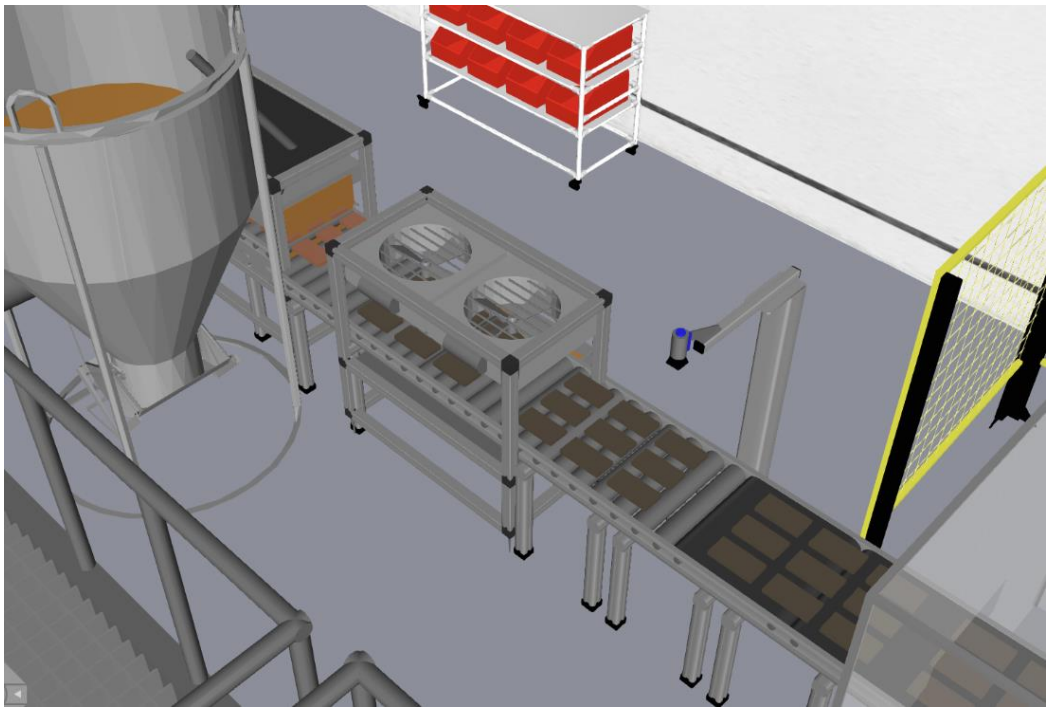


Рисунок 5.9 - Камера для генерации обучающих данных и тестирования алгоритмов контроля на конвейере

В цифровом двойнике предусмотрена выделенная область кастомизации с лазерной гравировкой представленная на рисунке 5.10, где часть плиток автоматически отбирается с основного конвейера и подаётся на сервисную линию с ла-

зерной головкой и камерой технического зрения; узел параметризуется по мощности, скорости сканирования, частоте импульсов и фокусному расстоянию, синхронизируется с движением по сигналам виртуального энкодера, поддерживает привязку изображения к текущей ориентации и размеру изделия, а контроль качества выполняется сразу после обработки с оценкой контраста, полноты штрихов и возможных признаков перегрева, что формирует замкнутый контур настройки режимов и позволяет безопасно отрабатывать персонализацию в различных рецептурах без остановки основной линии.

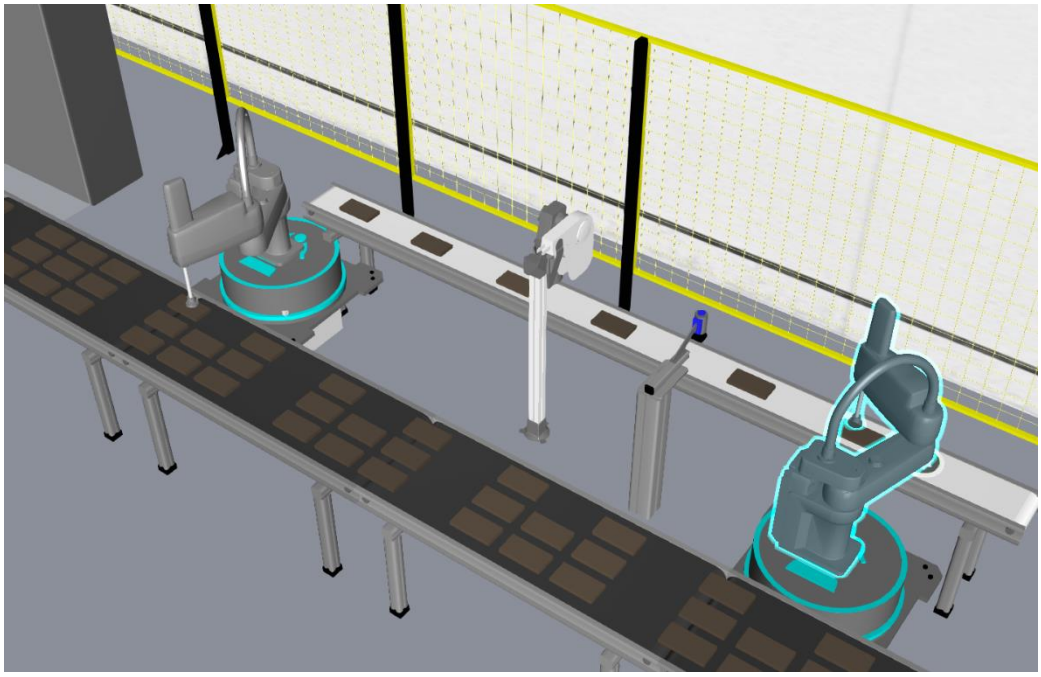


Рисунок 5.10 - Область кастомизации с лазерной гравировкой

В цифровом двойнике предусмотрен ещё один контрольный пост машинного зрения, расположенный непосредственно перед зоной упаковки на участке пересведения потока с накопительной ветви на подающий транспортер упаковочной машины представленный на рисунке 5.11. Камера установлена сверху по ходу движения и ориентирована на одиночную плитку в момент её входа в зону захвата, что обеспечивает стабильный ракурс и постоянный масштаб. Узел оснащён виртуальным энкодером и датчиком присутствия, благодаря чему съёмка синхронизируется с шагом подачи и поддерживается требуемый межпредметный зазор, а система не пропускает кадры в режиме ускоренной работы линии.

Контроль включает проверку целостности и геометрии плитки, выявление сколов и трещин, оценку однородности поверхности и блеска, распознавание следов загрязнений, а также верификацию ориентации и корректного положения относительно центра ленты, что важно для стабильной подачи в плечо упаковки. Алгоритм формирует решение о допуске изделия к упаковке и при необходимости инициирует отвод на отбраковку или кратковременную остановку подачи для предотвращения заклиниваний и пустых пакетов. В R-PRO варьируются скорость транспортёра, высота и угол установки камеры, тип и положение источников света, а также логика взаимодействия с исполнительными механизмами упаковочной машины по стандартным интерфейсам, что позволяет отработать сценарии повышенной нагрузки, временные рассогласования и появление единичного брака без риска для реального оборудования. Такое расположение контроля перед упаковкой снижает количество пустых и испорченных упаковок, уменьшает потребление расходных материалов и обеспечивает замыкание контура качества по всей линии от охлаждения и кастомизации до выпуска готовой продукции.

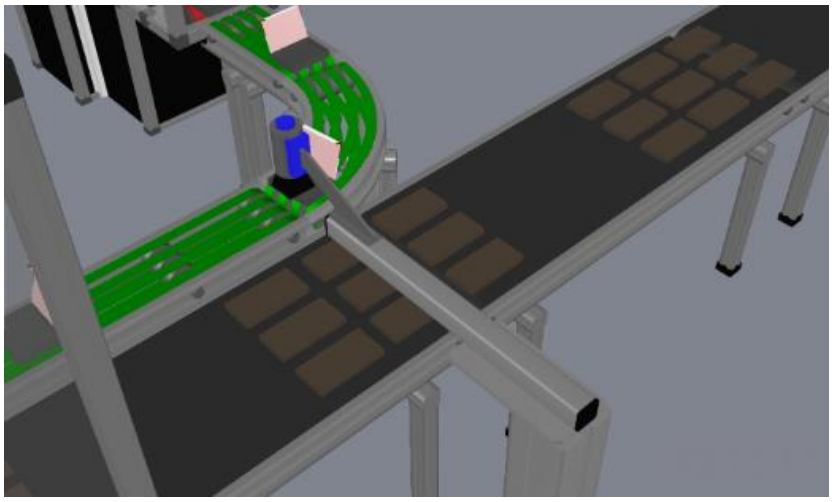


Рисунок 5.11 - Узел контроля качества на входе в упаковочную машину

В этом контексте машинное обучение и, в частности, нейронные сети представляют собой высокоэффективный инструмент для цифровизации и по-

вышения эффективности процессов контроля качества [25, 26, 60, 61]. Применение современных технологий обработки изображений может существенно улучшить точность и скорость выявления дефектов [46].

Автоматическое распознавание бракованной кондитерской продукции рассмотрим на примере готовых плиток шоколада с помощью нейросети VOLO на основе данных из цифровой симуляции производственного процесса.

Исследование данного ТП показало, что создание качественного обучающего датасета для такой задачи может быть затруднительным, особенно когда речь идет о специфических продуктах, таких как шоколад. В этом контексте цифровые симуляции могут предложить уникальное решение, позволяя генерировать огромные данные для обучения в контролируемой и стабильной среде [164].

На основании проведенных исследований была разработана и обучена нейронной сеть YOLO для автоматического распознавания бракованных плиток шоколада с использованием данных, полученных из цифровой симуляции производственного процесса. Полученные результаты направлены на демонстрацию возможностей интеллектуальных технологий для контроля органолептических показателей качества кондитерской продукции в режиме реального времени.

В процессе симуляции были созданы две основные категории шоколада: "качественные" и "бракованные". Качественные шоколадки соответствовали всем стандартам: они имели равномерный цвет, стандартные размеры и необходимую форму.

Для решения задачи детекции качественных и бракованных шоколадок были внесены некоторые специфические изменения в стандартную архитектуру YOLO. Во-первых, число классов было установлено равным двум (качественный и бракованный шоколад). Во-вторых, были подобраны оптимальные анкерные прямоугольники, соответствующие типичным размерам плиток шоколада на изображениях. Что касается параметров обучения, то был выбран оптимизатор Adam с коэффициентом обучения 0,001, который далее уменьшался по мере сходимости обучения. Для предотвращения переобучения использовались методы

регуляризации, такие как dropout и аугментация данных (повороты, изменение масштаба, смещения). Количество эпох обучения было установлено равным 100. Однако, ранняя остановка (early stopping) применялась при отсутствии улучшений на валидационной выборке в течение 10 последовательных эпох.

Особенность применения YOLO для данной задачи заключалась в том, что в отличие от стандартных задач детекции, где объекты могут иметь разные формы и размеры, здесь объекты (плитки шоколада) имели стандартные размеры и формы. Это позволило сосредоточиться на выявлении нюансов, таких как поверхностные дефекты или неравномерность цвета, что делало задачу одновременно сложной и интересной с точки зрения обучения нейросети. При этом, подготовка данных являлась критическим этапом в процессе создания и обучения нейронной сети. Корректно подготовленные и разнообразные данные существенно повысили качество и устойчивость модели, а также её способность к обобщению. В первую очередь, все изображения из цифровой симуляции были подвергнуты предобработке. Это включало в себя изменение размера изображений до размера, соответствующего входным параметрам YOLO (416x416 пикселей). Кроме того, проводилась нормализация пиксельных значений, что означает приведение их к диапазону от 0 до 1.

Была использована аугментация данных - метод создания новых обучающих примеров путем внесения случайных изменений в существующие изображения, что помогло увеличить объем и разнообразие данных, а также сделало модель менее чувствительной к определенным видам изменений в изображениях. Нами были использованы следующие методы аугментации: случайные повороты, изменение масштаба, горизонтальное отражение и изменение яркости. Эти методы были выбраны на основе анализа реальных условий производства и потенциальных изменений в изображениях шоколадок.

После предобработки и аугментации данные были разделены на обучающую и тестовую выборки. 80% всех изображений были отнесены к обучающей

выборке, используемой для тренировки модели. Оставшиеся 20% составили тестовую выборку, которая использовалась для оценки производительности и обобщающей способности модели.

Для оценки производительности модели в задачах детекции объектов важно использовать релевантные метрики, которые отражали различные аспекты качества предсказаний. В рамках данного исследования были выбраны следующие ключевые метрики.

1. Точность (Precision): Эта метрика измеряет, сколько из объектов, предсказанных моделью как бракованные плитки шоколада, действительно являются бракованными. Формула для вычисления точности: TP / (TP + FP), где TP - истинно положительные результаты, а FP - ложноположительные результаты.

2. Полнота (Recall): полнота показывает, сколько из всех бракованных плиток шоколада на изображении были корректно определены моделью. Формула для вычисления полноты: TP / (TP + FN), где FN - ложноотрицательные результаты.

3. F1-мера: это гармоническое среднее между точностью и полнотой, позволяющее учесть обе эти метрики одновременно и предоставить общую оценку качества модели. F1-мера особенно полезна, когда распределение классов неравномерно. Формула: 2 * (Точность * Отзыв) / (Точность + Отзыв).

4. mAP (mean Average Precision): это среднее значение AP (Average Precision) по всем классам. В задачах детекции объектов mAP является одной из наиболее популярных метрик, так как она учитывает не только точность и полноту, но и качество привязки bounding boxes.

5. IoU (Intersection over Union): эта метрика измеряет пересечение между истинным и предсказанным bounding box'ом в отношении их объединения. Чем выше значение IoU, тем точнее привязка bounding box'a.

На основе этих метрик был проведен анализ производительности модели. Однако, как и любая модель, она имела свои слабые точки, которые были выявлены при анализе конкретных случаев неудачного распознавания, которые затем

были устранены. Полученный результат представлен на рисунке 5.12.

Таким образом, в рамках данного исследования была поставлена и успешно решена задача создания цифрового двойника (ЦД) процессов производства шоколада, позволяющего автоматически распознавать бракованные плитки на производственной линии с помощью нейросети YOLO.

Используя данные из цифровой симуляции, мы получили обучающий датасет, который обеспечил качественное обучение модели разработанного ЦД.

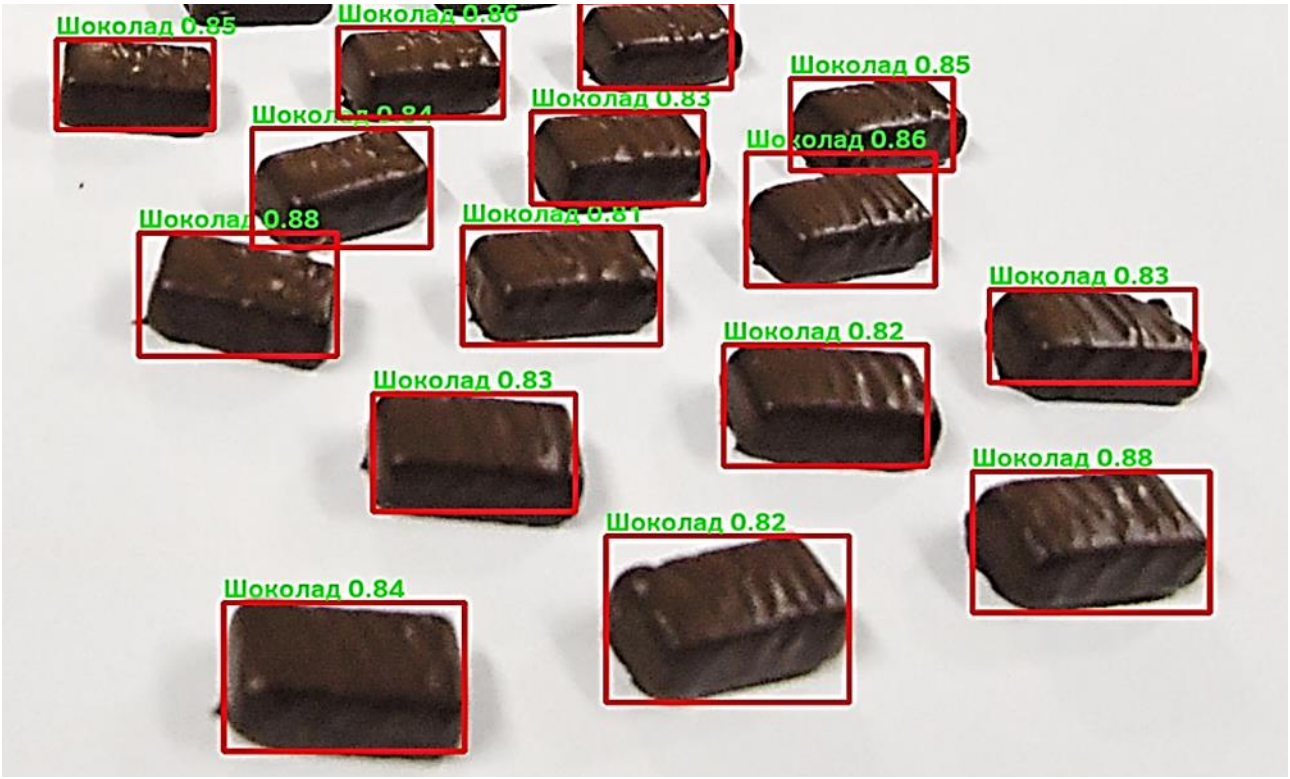


Рисунок 5.12 - Результаты работы нейронной сети Yolo

Таким образом, в рамках данного исследования была поставлена и успешно решена задача создания цифрового двойника (ЦД) процессов производства шоколада, позволяющего автоматически распознавать бракованные плитки на производственной линии с помощью нейросети YOLO.

Используя данные из цифровой симуляции, мы получили обучающий датасет, который обеспечил качественное обучение модели разработанного ЦД.

Высокие значения полученных метрик качества, таких как точность, полнота и F1-мера, подтверждают эффективность выбранного подхода. Визуализация результатов распознавания демонстрирует способность модели успешно идентифицировать и различать качественные и бракованные плитки шоколада даже в условиях изменения параметров производственного процесса и возможных искажений изображения.

Полученные результаты показали, что применение нейронных сетей в промышленности открывает новые горизонты для автоматизации контроля качества производимой продукции и улучшения производительности работающих линий по производству кондитерской продукции.

Внедрение созданных ЦД производства кондитерской продукции позволяет снижать сложность и трудоемкость управления этими линиями, повышать качество продукции, а также снижать зависимость качества выпускаемых изделий от компетенций технологов- экспертов.

Процесс производства кондитерской продукции описывается через последовательность сменяющих друг друга стадий с заданными правилами определения их длительности, контроля технологических, режимных параметров. Если одна из стадий производства задерживается или на ее выходе наблюдаются низкие значения контролируемых показателей качества, то прогноз показателей качества по следующим стадиям должен быть адаптивно пересчитан, что, в свою очередь, повлияет на прогноз качества выпускаемой кондитерской продукции и внесет в ИАСКиУ качеством необходимые коррективы.

Для достижения заданного результата - качества производимых кондитерских изделий необходимо пройти последовательность стадий («Задач»). Для стадий дополнительно определены правила расчета достигаемых значений показателей качества создаваемого кондитерского продукта. Выполнение этих правил зависит от технологических и режимных параметров производства, а также от параметров внешней среды (температуры, влажности и др.), данные о которых

предоставляются соответствующими сервисами. Каждый сервис реализует интерфейс, предоставляющий доступ к значениям указанных параметров для выбранной стадии производства. Система маршрутизирует запросы на получение данных, направляя их тем сервисам, которые зарегистрировали себя в качестве поставщиков запрошенного параметра. Состав параметров и показателей качества определен в базе знаний, внутренняя же реализация конкретного сервиса может использовать различные источники данных.

С правилами расчета прогнозируемых показателей качества полуфабрикатов и готовых изделий связан набор условий, определяющих ограничения на значения заданных технологических и режимных параметров, а также заданных показателей качества качества готового кондитерского продукта.

Предусматривается следующий режим функционирования ЦД: режим управления в реальном времени. В этом режиме ЦД адаптивно корректирует имеющийся план.

Результаты этого исследования могут также служить отправной точкой для дальнейших экспериментов и разработок, предоставляя промышленникам мощный инструмент для обеспечения высокого качества своей продукции.

5.6. Выводы по 5 главе

Пятая глава посвящена разработке методики автоматизации создания цифровых двойников производства кондитерской продукции на основе их структурно- параметрических, математических, ситуационных и имитационных моделей.

- Даны определения ЦД, представлены задачи, которые способны решать ЦД. Показаны возможности их использования 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 кондитерских 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. Представлена разработанная диаграмма создания ЦД ТП производства кондитерской продукции.

- На примере линии производства шоколада показано применение разработанного комплекса инструментальных средств для создания ЦД ТП производства кондитерской продукции. Для описания ЦД в рамках единой технологической системы представлен созданный ЦД процессов производства шоколада с использованием разработанной и обученной нейронной сетью YOLO для автоматического распознавания качества готового шоколада при применении данных, полученных из цифровой симуляции производственного процесса.

ГЛАВА 6. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ВИРТУАЛЬНОЙ, ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТЕЙ И КАСТОМИЗАЦИИ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ РАЗРАБОТКИ НОВОЙ ЛИНЕЙКИ ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННОЙ КОНДИТЕРСКОЙ ПРОДУКЦИИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Современный рынок кондитерских изделий характеризуется высокой степенью насыщенности и конкуренции, что требует от производителей не только качества продукции, но и уникальности предложения. В этой связи технологии кастомизации выступают как ключевой инструмент, позволяющий удовлетворить индивидуальные предпочтения потребителей, создавая продукты, которые отражают их личные вкусы и диетические ограничения.

6.1. Современное использование технологии кастомизации в отраслях кондитерской промышленности

Кастомизация (от англ. to customize — настраивать, изменять) — создание и изменение продукта на основе индивидуальных потребностей и желаний потребителя. Кастомизация означает индивидуализацию того или иного продукта, выпускаемого на предприятии массово, путем внесения каких-либо конструктивных особенностей, создание некоторой эксклюзивности для конкретного человека. Ключевой особенностью технологии кастомизации является то, что каждый человек самостоятельно выбирает свойства своего продукта с учетом его личных вкусов и требований. Главная задача кастомизации – создание у потребителя ощущения, что продукция была сделана исключительно для него, так как учитываются его индивидуальные вкусы и потребности.

Применение термина кастомизации к кондитерским изделиям выражается в возможности потребителя влиять на ряд характеристик продукта: в соответствии с личными предпочтениями, потребитель может самостоятельно менять вкус корпуса (начинки), внешний вид и упаковку продукта. Эти технологии позволяют отходить от стандартного производства к созданию продуктов, которые могут быть адаптированы под индивидуальные вкусы и предпочтения каждого клиента. Если раньше индивидуализация принимала небольшие масштабы и

была направлена на отдельные слои населения (например, на молодое поколение), то сейчас эта технология стоит на пороге массовости и вовлечения все больших слоев населения. С использованием интеллектуальных технологий растет и число желающих попробовать кастомизированный продукт. Так, согласно социологическим исследованиям международной интернет-компании «YouGov», в больших городах Великобритании видны тенденции роста интереса к технологии кастомизации среди возраста 35-49 лет [195].

На передовой этого тренда находятся технологии 3D-печати, которые позволяют создавать сложные и уникальные формы из съедобных материалов, включая шоколад и сахарные пасты. Такие технологии открывают безграничные возможности для дизайна и производства кондитерских изделий, делая возможным воплощение самых смелых идей и предложений. Помимо 3D-печати, применение искусственного интеллекта и машинного обучения после анализа предпочтений потребителей позволяет создавать персонализированные вкусовые профили и предлагать клиентам продукты, которые будут соответствовать их индивидуальным вкусам наиболее точно.

Блокчейн добавляет в эту экосистему элемент прозрачности, позволяя потребителям получать подробную информацию о происхождении ингредиентов, используемых в их кондитерских изделиях. Это не только укрепляет доверие клиентов, но и повышает ценность продукта за счет гарантий качества и экологичности. Внедрение этих технологий стало возможным, благодаря желанию производителей идти в ногу со временем и отвечать на растущие требования потребителей к уникальности и персонализации. Это позволяет не только расширять рынок за счет предложения эксклюзивных кондитерских продуктов, но и укреплять связь между брендом и его клиентами, предоставляя им неповторимый опыт.

На сегодняшний день существует много разных организаций, которые продают шоколад, конфеты и другие кондитерские изделия по индивидуальным требованиям потребителей. Но весь процесс индивидуализации продукция состоит, как правило, только из выбора упаковки и рисунка на шоколаде, где предлагается

в качестве кастомизации добавить свою надпись. А форма и цвет шоколада менять нельзя. Пример выпуска оригинальных кондитерских изделий приведен на рисунке 6.1. Примеры существующей кастомизации представлены на рисунке 6.2.



Рисунок 6.1- Пример кастомизации получения элитных конфет









а) терминалы сети ресторанов «Макдоналдс» б) «Summer Love Frozen Yogurt»

Рисунок 6.2 - Примеры кастомизации

В сети ресторанов быстрого питания «McDonald’s» («Вкусно. И точка»), заказ еды осуществляется через терминал, в интерфейсе которого реализован механизм добавления или удаления части ингредиентов. Также, в зависимости от выбора основного продукта, к нему предлагается дополнительная сопутствующая продукция или «комбо» – рекомендованное сочетание продуктов (рисунок 6.2а). «Summer Love Frozen Yogurt» – пример сети предприятий, реализующих замороженные йогурты. Посетителю необходимо выполнить четыре простых

действия – взять стакан, наполнить десертом, добавить сиропы и оплатить. Целевой аудиторией такой сети являются люди, которые следят за питанием. Для них замороженный йогурт – это отличная альтернатива мороженому. Процесс создания такого десерта является отличным примером кастомизации, где клиент полностью создает самостоятельно свою вкусовую гамму. При этом, такое занятие является довольно простым, быстрым и понятным (рисунок 6.2.б).

Предприятие «Pizza Di Casa» также имеет функцию кастомизирования продуктов (рисунок 6.3). На сайте предприятия разработан конструктор продукции, в котором человек может выбрать только те ингредиенты для пиццы, которые ему нравятся, а затем, добавить в корзину и оплатить.

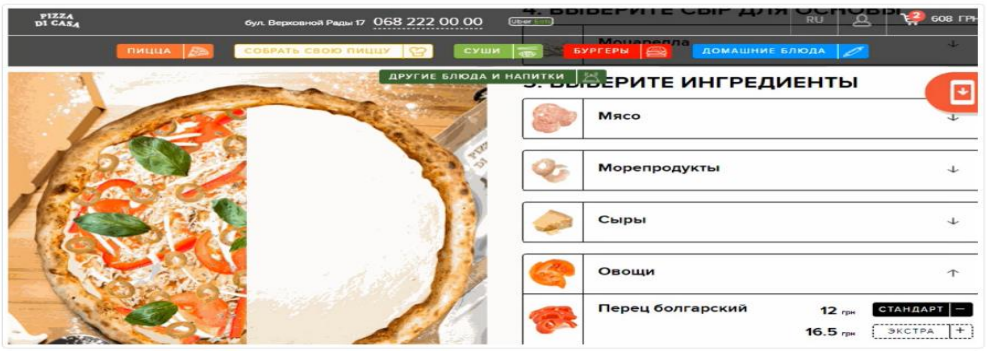


Рисунок 6.3 - Пример веб-страницы кастомизации в «Pizza Di Casa»

Все эти организации объединяет стремление дать посетителям нечто уникальное, необычное и комфортное, а также привнести положительные эмоции от посещения заведений, которые думают о своих клиентах.

Таким образом, использование современных технологий кастомизации в кондитерской промышленности отражает общий тренд к более персонализированному и вовлеченному потреблению. Эти инновации не только способствуют развитию отрасли, но и создают новые возможности для выражения индивидуальности и предпочтений потребителей через кондитерские изделия, делая каждый продукт по-настоящему уникальным, оригинальным и запоминающимся. Применение технологии кастомизации к кондитерским изделиям выражается в возможности потребителя влиять на ряд характеристик продукта: в соответствии

с личными предпочтениями. Потребитель может самостоятельно менять форму изделия, вкус корпуса (или начинки), внешний вид и упаковку продукта.

6.2. Основные этапы кастомизации формы, вкуса и цвета кондитерских изделий

Представленная в данном разделе технология кастомизации будет иметь возможность выбора формы, цвета, вкуса, начинки – одной или более, украшений и возможностью пользователем загружать свои макеты, на основе которых будет создаваться форма, вкус, цвет, упаковка для кондитерских изделий.

В данном исследовании рассматривалась задача создания автоматизированной системы кастомизации внутри цехов кондитерских предприятий, при которой возможно получения новых форм и вкусов кондитерских изделий без глобального изменения линий производства. Каждый новый вкус, цвет, начинка и упаковка тщательно продумывается с технологом на производстве, для того чтобы при наименьших экономических затратах получить наиболее широкий и востребованный ассортимент. В свою очередь, предприятие получает более детальную статистику на основе личных вкусов потребителей и грамотно выстраивает ассортимент. Также имеет в перспективе меньше экономических рисков из-за неудачной реализации продукции.

Анализ работ в этой области [25] показал, что процесс кастомизации формы, вкуса и цвета кондитерских изделий включает в себя несколько ключевых этапов, каждый из которых играет важную роль в создании уникального продукта, отвечающего индивидуальным предпочтениям и запросам клиента. Эти этапы начинаются с планирования и заканчиваются реализацией конкретного заказа, включая следующие шаги:

1. *Сбор требований и предпочтений клиента*: на этом этапе проводится обсуждение с клиентом нового изделия для определения его предпочтений относительно формы, вкуса и цвета продукта. Важно тщательно уточнить все детали, включая любые специфические требования, такие как необходимость использования натуральных ингредиентов или соблюдение диетических ограничений.

2. *Дизайн и разработка концепции*: на основе полученной информации разрабатывается концепция кондитерского продукта. Этот процесс может включать создание эскизов и дизайнов, обсуждение которых проводится с клиентом для утверждения. Важно учесть возможности производства и доступность ингредиентов при разработке концепции.

3. *Выбор и подготовка ингредиентов*: после утверждения концепции выбираются подходящие ингредиенты, которые соответствуют требуемому вкусу и цвету. На этом этапе также проводится проверка качества и свежести ингредиентов, что является ключевым фактором успеха в создании качественного оригинального кондитерского изделия.

4. *Прототипирование и тестирование:* создается прототип продукта, который затем подвергается тестированию для оценки соответствия заявленным требованиям вкуса, формы и цвета. Этот этап может включать дегустации с участием клиента для получения обратной связи и внесения необходимых корректировок.

5. *Финальное производство*: после одобрения прототипа начинается процесс финального производства, который включает в себя масштабирование рецептуры для коммерческого производства, контроль качества на всех этапах и упаковку готовых изделий согласно требованиям и пожеланиям клиента.

6. *Доставка и обратная связь*: готовые изделия доставляются клиенту. Важным шагом является получение обратной связи от клиента после того, как он ознакомится с продуктом. Это позволяет не только убедиться в удовлетворенности клиента, но и собрать ценные замечания для улучшения будущих проектов кастомизации.

Каждый из этих этапов требует внимательного рассмотрения и высокой степени мастерства от производителей кондитерских изделий, чтобы гарантировать, что конечный продукт не только соответствует, но и превосходит ожи-

дания клиента. Использование современных технологий и инновационных подходов на каждом из этапов производства позволяет достигать высокого уровня персонализации и уникальности продукта.

6.3. Разработка цифровых трехмерных моделей конфет и тестирование их кастомизации в цифровом двойнике для разработки контроля каче-ства с помощью систеимы машинного зрения

Разработка цифровых трехмерных моделей конфет — это сложный и творческий процесс, который сочетает в себе искусство дизайна и технологические инновации. Этот процесс начинается с идеи или концепции, которая затем превращается в детализированную 3D-модель, готовую к производству с использованием современных методов, таких как 3D-печать. 3D- моделирование – это процесс создания трехмерной модели объекта. Задача 3D- моделирования – разработать визуальный объемный образ желаемого объекта. Для создания трехмерной модели требуются специальные программные и аппаратные средства. К программным принадлежат приложения 2D –визуализации. К аппаратным относят то, с помощью чего создается и отображается модель: компьютер, 3D-мониторы, 3D-принтеры. Важно отметить, что разработка трехмерных моделей конфет требует не только художественных навыков, но и понимания материалов, с которыми предстоит работать, а также особенностей производственного процесса.

Первым шагом в разработке 3D-моделей конфет является формирование идеи и создание предварительных эскизов. На этом этапе дизайнеры работают в тесном сотрудничестве с заказчиками или маркетинговым отделом, чтобы точно понять желаемый результат. Обсуждение идеи помогает определить ключевые элементы дизайна, такие как форма, размер, текстура и цвет конечного продукта.

После утверждения концепции следующим шагом является создание детализированных эскизов и перевод их в цифровую форму с помощью специализированного программного обеспечения для 3D-моделирования. На этом этапе дизайнеры используют такие программы, как Autodesk 3ds Max, Maya или Blender,

для создания точных трехмерных моделей, которые визуализируют предполагаемые формы и текстуры конфет. Важным моментом является учет технических ограничений производственного процесса, таких как возможности 3D-печати и свойства используемых съедобных материалов.

На стадии моделирования дизайнеры оптимизируют геометрию для печати, корректируя толщину стенок, углы и опорные элементы, а также проводят виртуальные испытания для оценки визуальных и функциональных свойств будущего изделия; после согласования с заказчиком модель считается готовой к изготовлению и передаётся на печать

Завершающий этап включает постобработку печатных деталей с очисткой, глазированием и добавлением декоративных элементов, что придаёт конфетам законченный вид и подчёркивает индивидуальность. В эту технологическую цепочку органично включается ещё один способ кастомизации — лазерная гравировка на поверхности шоколада, которая наносит изображения, текст и фирменные элементы без смены оснастки, обеспечивает высокую точность и минимальный контакт с изделием, сохраняя органолептические свойства. В цифровом двойнике узел гравировки параметризован по мощности, скорости сканирования, частоте импульсов, фокусному расстоянию и синхронизации с движением конвейера, благодаря чему режимы подбираются под конкретные рецептуры и температурные состояния, а качество результата оценивается системой машинного зрения по полноте штрихов, контрасту, геометрическому смещению и признакам перегрева с автоматической выработкой рекомендаций по корректировке.

На рисунке 6.4 показан эффект некорректной настройки, когда при низкой скорости или недостаточной мощности контуры изображения становятся размытыми и неотчётливыми, а при избыточной мощности или чрезмерно медленном перемещении головки возникают локальный перегрев, подгорание и даже прожог материала, что приводит к пятнам копоти, ухудшению декора и структур-

ному разрушению поверхности; подобные случаи требуют перенастройки параметров и подтверждают важность предварительной отработки режимов в цифровом двойнике и замыкания обратной связи через машинное зрение. Совместное использование 3D-печати и лазерной гравировки формирует единый, управляемый данными процесс персонализации, позволяющий выпускать короткие серии и проводить маркетинговые акции без остановки основной линии и с предсказуемым качеством.



Рисунок 6.4 - Пример дефектов лазерной гравировки шоколадного изделия

Исходя из вышеизложенного, можно заключить, что исследование и разработка автоматизированной платформы персонализации шоколада на основе лазерной гравировки и системы машинного зрения для контроля качества органично вписываются в ключевые отраслевые тенденции: экспоненциальный рост сегмента персонализированного питания, опережающее расширение рынка премиального шоколада и возрастающий интерес производителей к технологиям, позволяющим сочетать широкую вариативность продукта с сохранением промышленной эффективности. Предлагаемое комплексное решение не только обладает очевидной прикладной значимостью, но и характеризуется выраженной научной новизной.

В цифровом двойнике реализован узел кастомизации представленный на рисунке 6.5, где из основного потока роботизированный манипулятор отбирает часть плиток и передаёт их на параллельную сервисную линию, оснащённую ла-

зерным модулем для гравировки и камерой технического зрения для последующего контроля. На сервисной линии задана параметризация рабочей дистанции, фокуса и поля обработки, выполнено согласование системы координат лазерной головы с конвейером и поверхностью изделия, а также синхронизация съёмки с движением по сигналам виртуального энкодера, что обеспечивает стабильную фиксацию положения плиток. Перед нанесением изображения выполняется привязка шаблона к текущей ориентации и масштабу изделия, после чего лазер формирует рисунок с учётом скорости транспортёра и допустимой плотности энергии; затем плитка проходит под обзорную камеру, где нейросетевой алгоритм оценивает полноту штрихов, равномерность заливки, смещение относительно эталона, следы подгара и локальные дефекты поверхности. По результатам проверки изделие либо возвращается в общий поток, либо направляется на отбраковку, при необходимости предусмотрена повторная проходка. В R PRO для этого узла варьируются мощность и скорость сканирования, параметры фокусировки, скорость ленты, тип и детализация изображения, а также модельные свойства материала, такие как температура и твёрдость, что позволяет воспроизвести реальное поведение шоколада при термическом воздействии. Камера проходит фотометрическую и геометрическую калибровку с верификацией масштаба пикселя на объекте, сцены автоматически генерируют датасет с точной разметкой контуров гравировки и эталонных областей, что ускоряет обучение и аттестацию алгоритмов контроля. Узел расположен в зоне с ограждением и средствами промышленной безопасности, работает в связке с основным конвейером и обеспечивает балансировку производительности между линиями за счёт настройки интервала отбора и траекторий манипуляторов. По итогам виртуальных испытаний формируются рекомендации по настройке лазера и освещения, а также регламенты интеграции узла в производственный контур, что снижает риски при внедрении и сокращает время пусконаладки на площадке.

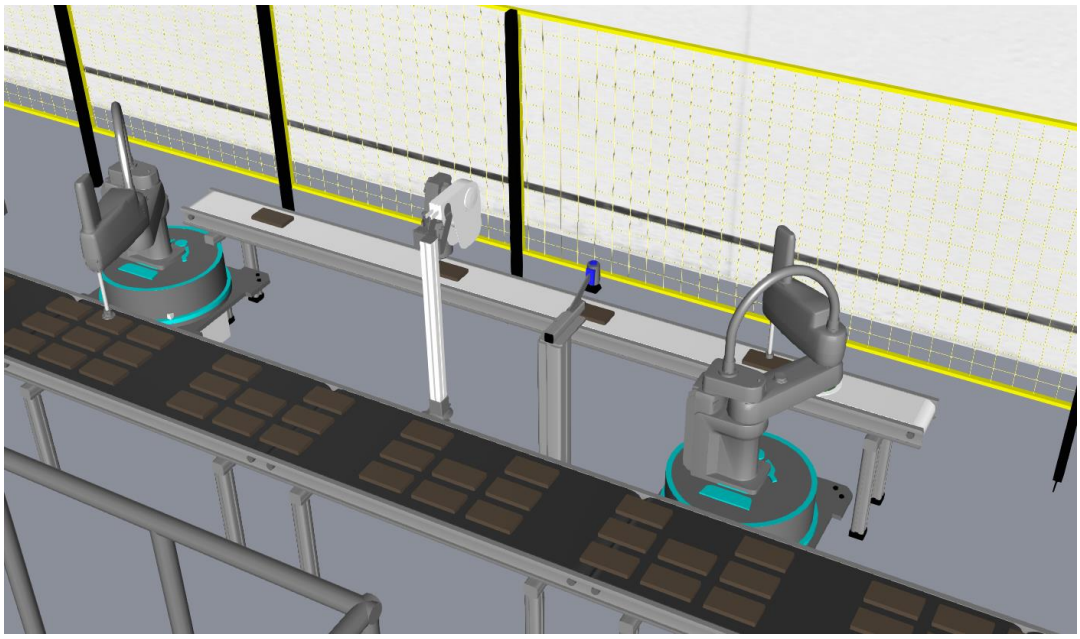


Рисунок 6.5 - Участок цифрового двойника по кастомизации.

Для проверки качества изображения и подготовки данных к обучению создан виртуальный пост контроля с «камерой» и параметризуемой подсветкой. На базе этой сцены разработан генератор синтетических партий изделий: варьируются оттенок и блеск шоколада, микрорельеф поверхности, фокус и освещённость, угловое положение плитки и возможные смещения рисунка. Система сохраняет кадровые снимки и служебные метаданные (класс OK/NOK, величина смещения, параметры рецепта), формируя сценарно размеченный датасет для обучения модели машинного зрения. Примеры сгенерированных изображений и каталог с сериями кадров показаны на рисунке 6.6.

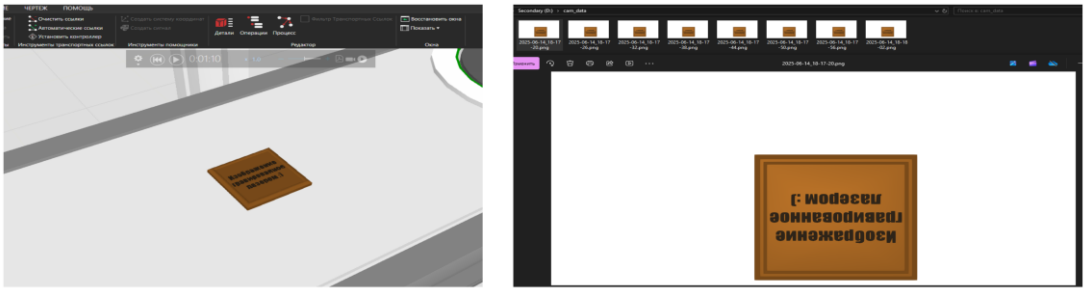


Рисунок 6.6 - Примеры синтетических изображений, автоматически сохранённых виртуальной камерой; справа — фрагмент каталога серии кадров.

Эксперименты в симуляции подтвердили воспроизводимость процесса при смене дизайна: «рецепты» (мощность, скорость/частота сканирования, шаг

штриховки, компенсация движения) автоматически собираются из цифровой модели и передаются в модуль управления лазером, что обеспечивает единое «описание истины» от дизайна до гравировки. По результатам прогонов получены типовые зависимости: увеличение скорости сканирования и шага штриховки ускоряет цикл, но снижает контраст; расфокус и изменение блеска поверхности сильнее других факторов влияют на читаемость, что требует адаптации Δz и стратегии штриховки; при on-the-fly режимах качество устойчиво при корректной компенсации по энкодеру и соблюдении допусков на угловое положение изделия.

Сформированный синтетический датасет (несколько тысяч изображений с контролируемыми вариациями) использован для предварительного обучения нейросетевого модуля контроля. На валидации по синтетике модель надёжно различает OK/NOK, оценивает смещение и предсказывает снижение контраста при неблагоприятных сочетаниях параметров. Пилотные испытания на ограниченном наборе реальных снимков показали переносимость признаков: после краткой донастройки по реальным данным алгоритм корректно выявляет пережог, недограв и сдвиги изображения.

Практический эффект цифровой симуляции выражается в сокращении объёма натурных пробных партий и времени переналадки при вводе новых дизайнов, повышении стабильности контраста и читаемости гравировки, а также в переносимости рецептов между продуктами и площадками за счёт единой цифровой модели процесса. Верифицированная в R-PRO архитектура и генерация датасета формируют основу для дальнейшей интеграции с MES/ERP и масштабирования решения в промышленном потоке.

На рисунке 6.7 представлена работа модуля машинного зрения в режиме реального времени: после лазерной гравировки система автоматически выделяет область интереса и классифицирует качество изображения по двум категориям – «высокое качество» и «неудовлетворительно». Внутри красной

рамки системой обозначены участки с чёткими контурами рисунка, стабильной глубиной гравировки и высоким контрастом, соответствующие заявленным технологическим параметрам. В то же время светлой рамкой отмечены образцы, в которых обнаружены признаки размытости, недостаточного контраста или локального перегрева поверхности, что автоматически приводит к их отбраковке. Данный визуальный контроль демонстрирует способность алгоритма обнаруживать и классифицировать дефекты с точностью, обеспечивающей снижение доли брака на экспериментальной линии и беспрерывную адаптацию параметров лазера в дальнейшем.



Рисунок 6.7 — Демонстрация работы модуля машинного зрения: классификация участков лазерной гравировки на «Высокое качество» и «Неудовлетворительно».

Интеграция и модуля машинного зрения производится на уровне как аппаратных, так и программных интерфейсов, образуя единую кибер-физическую систему с замкнутым циклом управления. Камера и осветительный модуль машинного зрения жёстко закреплены на раме стенда в зоне после окончания траектории лазерной гравировки, что позволяет гарантировать неизменность калибровочных параметров при любых настройках XYZ-позицио-

нирования. Сигнал о завершении каждого прохода лазера поступает от контроллера ЧПУ (ПЛК) по шине Modbus/TCP в программный блок обработки изображений. По этому триггеру начинается съёмка и предобработка кадра: выравнивание освещённости, коррекция геометрии и устранение бликов поляризационными фильтрами.

Далее изображение передаётся на локальный сервер или встроенный мини-ПК, где алгоритм на основе глубокой сверточной сети и классических методов CV выполняет детекцию контуров, анализ профиля гравировки и классификацию дефектов. Результаты анализа — параметры качества (глубина, контраст, наличие смазываний или прожогов) — отправляются обратно на ПЛК через тот же Modbus/TCP или REST-API. В случае отклонения от заданных допусков ПЛК автоматически корректирует следующие команды лазеру: изменяет мощность, скорость перемещения или шаг между строками гравировки. Если дефект неустраним (например, локальный прожог), ПЛК инициирует останов конвейера и командует манипулятору-роботу перенести изделие в ёмкость для брака.

Все события, параметры лазера и результаты инспекции логируются в базу данных и отображаются в реальном времени на HMI-панели оператора. Такой подход обеспечивает полную прослеживаемость каждого изделия, возможность быстрого отката к ранее сохранённым режимам и лёгкую адаптацию системы под новые шаблоны гравировки без остановки всей линии.

6.4. Разработка платформы для кастомизации формы, цвета и вкуса кондитерских изделий

В современной индустрии кондитерских изделий наблюдается растущий спрос на персонализированные продукты, что ставит перед производителями задачу разработки инновационных подходов к созданию и кастомизации своей продукции. В этом контексте разработка платформы для кастомизации формы,

вкуса и цвета кондитерских изделий представляет собой революционное решение, позволяющее не только расширить ассортимент предлагаемых товаров, но и существенно упростить процесс их производства.

Одной из основных проблем в разработке персонализированных кондитерских изделий является необходимость создания трехмерных моделей каждого нового продукта, что требует значительных временных и технологических ресурсов.

Разработанная платформа решает эту проблему, предоставляя пользователям понятные инструменты для визуализации и кастомизации формы, вкуса и цвета изделий в реальном времени. Это достигается за счет использования передовых технологий виртуальной и дополненной реальности, которые позволяют визуализировать конечный продукт до начала его производства.

Платформа обладает рядом ключевых функций, которые делают процесс кастомизации максимально удобным и эффективным. Во-первых, она предлагает широкий спектр предварительно загруженных шаблонов конфет различных форм и размеров, которые пользователи могут модифицировать в соответствии со своими предпочтениями. Во-вторых, с помощью продвинутых алгоритмов коррекции цвета пользователи могут настраивать цвет изделия, обеспечивая его соответствие уникальным запросам заказчика. В-третьих, интеграция с сенсорными технологиями позволяет имитировать вкусовые ощущения, что дает возможность предварительно оценить вкусовые качества продукта еще до его физического производства.

Структура платформы для кастомизации заключается в следующем: существует сайт компании на котором есть раздел с услугой кастомизации кондитерских изделий. Помимо услуги самой кастомизации на сайте будут присутствовать разделы «О нас», «Меню», «Новости предприятия», «Наши партнеры» и «Контакты». Например, если человек не хочет пользоваться услугой кастомизации, он может выбрать доступный ассортимент в разделе «Меню», ознакомиться с акциями и скидками, оставить свой отзыв с пожеланиями и т.д.

Сначала технология кастомизации задумывалась в виде простого для понимания и использования конфигуратора с этапами создания кондитерского изделия. Конфигуратор должен иметь несколько слайдеров, названия этапов создания и главный экран, на котором будет изображено изделие с учетом его поэтапной кастомизации. Слайдеры в таком случае создаются для того, чтобы максимально упростить процесс создания нового изделия. На нем будет изображен цвет и название кондитерской составляющей: если это начинка, то: малина, клубника, черника и так далее; если украшение, то: сублимированные ягоды, кокосовая стружка, арахисовые лепестки и др. На заднем фоне каждого элемента конфеты будет соответствующий фон - цвет того, как это будет выглядеть, если добавить выбранный ингредиент в кондитерское изделие. На рисунке 6.8 представлен прототип конфигуратора для кастомизации.

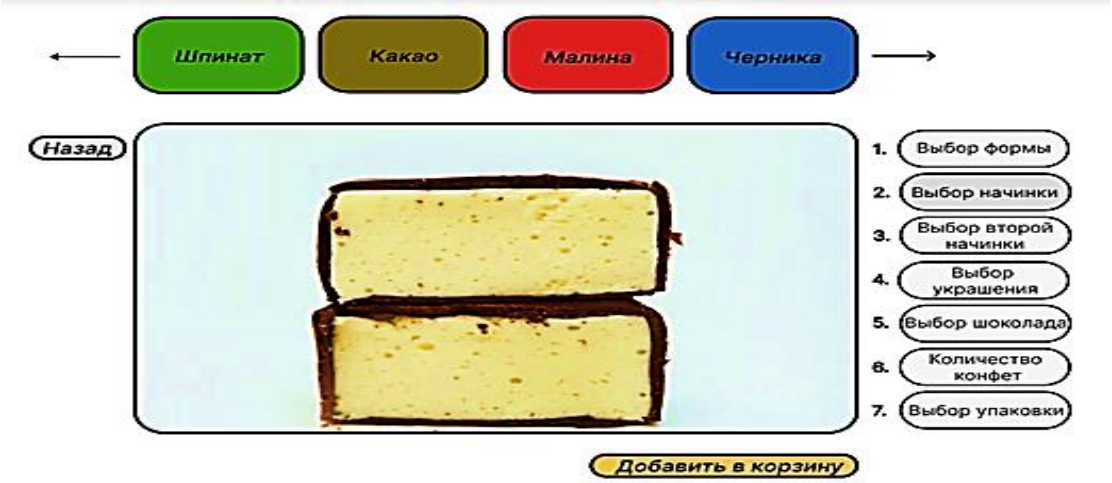


Рисунок 6.8 - Прототип конфигуратора для кастомизации

Основная логика и принцип работы технологии кастомизации на практике заключается в следующем. Пользователю будут доступны следующие этапы при создании кондитерского изделия:

1. Выбор формы.
2. Выбор начинки.
3. Выбор второй начинки (по желанию).
4. Выбор декоративных украшений.
5. Выбор шоколада снаружи (для глазирования конфеты).

6. Количество конфет в коробке.

7. Выбор упаковки.

Первый этап кастомизации. Форму конфет можно будет выбрать из следующего перечня:1. Пирамида. 2. Куб. 3. Купол. 4. Призма. Первый этап кастомизации – выбор формы изделия представлен на рисунке 6.9.

Стоит отметить, что все возможные варианты являются первоначальными. Параллельно с развитием масштаба производства будут внедряться новые формы и дополнительные этапы кастомизации.

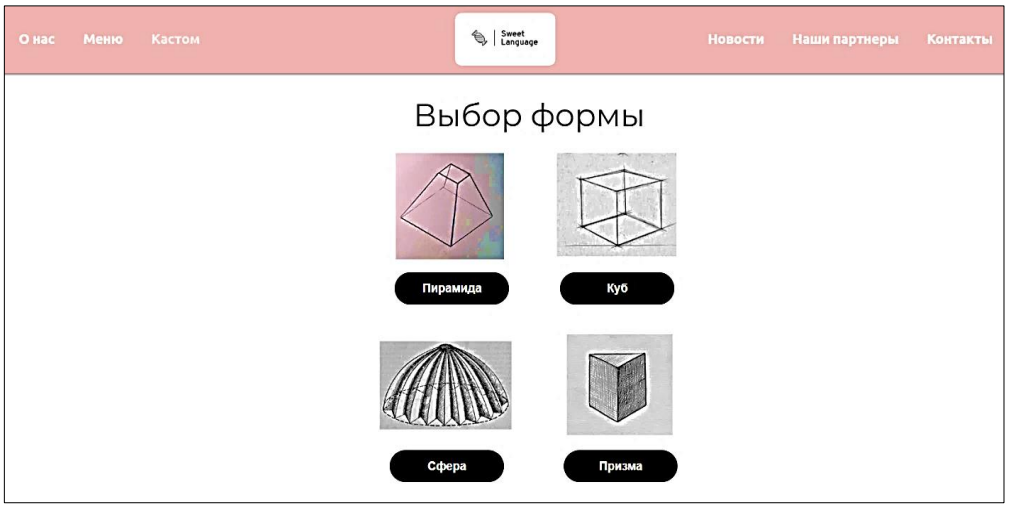


Рисунок 6.9 - Выбор формы кондитерского изделия

Второй этап костомизации. Выбор начинки имеет свою особенность, так как предполагает под собой особую консистенцию определенной влажности и плотности. Такие условия вызваны тем обстоятельством, что в начинки добавляются фолаты – полезные микроэлементы, способствующие повышению синтеза клеток внутри организма. Таким образом, получаем, что начинка может быть определенного типа – она не должна быть слишком сочной, так как это нарушит технологию производства кондитерского изделия. К примеру, такие вкусы как дыня или арбуз не смогут в этом случае быть использованы в качестве начинки. Актуальными вариантами начинки кондитерского изделия могут быть:

- ваниль - шоколад - клубника - малина - персик
- мята - клюква - черника - смородина - апельсин
- кокос - шпинат - вишня - ананас - банан И др.

Также при выборе наполнителя следует учитывать, что цвет начинки зависит не просто от наполнителя, а от смешивания цвета этого наполнителя, например, со сбивной основой кондитерского изделия. Сбивная основа для конфет обычно имеет бледно-зеленый цвет ввиду добавления фолатов. Второй этап кастомизации – выбор начинки представлен на рисунке 6.10.



Рисунок 6.10 - Выбор начинки

Третий этап кастомизации. Выбор второй начинки, как этап является дополнительной функцией. Пользователь сможет его пропустить при желании, либо сделать двойную начинку. При этом кондитерское изделие внутри будет иметь два разных вкуса и цвета. Например, малиновый слой вместе с черничным слоем дают красный и фиолетовый цвет изнутри. Третий этап кастомизации – выбор второй начинки, представлен на рисунке 6.11.



Рисунок 6.11 - Выбор второй начинки

Четвертый этап кастомизации. Выбор шоколада подразумевает глазирование конфеты снаружи слоем шоколадной глазури. Четвертый этап кастомизации – выбор шоколада для глазирования конфет, представлен на рисунке 6.12.



Рисунок 6.12 - Выбор шоколада для глазирования конфет

Пятый этап кастомизации. Пользователь сможет выбрать темный, молочный или белый шоколад. Белый шоколад отлично меняет свой цвет при взаимодействии с пищевыми красителями. Поэтому, если пользователь выбрал белый шоколад, он также может поменять его цвет: фиолетовый; голубой; желтый; розовый; оранжевый; зеленый. При этом, по желанию, можно оставить просто белый шоколад. Пятый этап кастомизации – выбор цвета шоколада для глазирования конфет представлен на рисунке 6.13.



Рисунок 6.13 - Выбор цвета шоколада

Шестой этап кастомизации - выбор украшения для конфеты. Это – декоративный элемент, который располагается сверху изделия. Сама по себе данная функция будет иметь по большей части эстетическую составляющую продукта, при которой будет тенденция к постоянному расширению данного ассортимента внутри конфигуратора, поскольку украшения на кондитерском изделии играет большую роль при выборе конфет потребителем.

Декоративная выборка при кастомизации будет иметь расширенный ассортимент по отношению к классическому меню на сайте. Потребитель сможет создать новое, необычное, оригинальное и интересное кондитерское изделие, которого нет в кондитерских магазинах. Вариантами украшений могут быть следующие элементы: какао; кокосовая стружка; шоколадная стружка; матча; арахисовые лепестки; сублимированные кусочки малины; сублимированные кусочки клубники. Шестой этап кастомизации – выбор украшения конфет представлен на рисунке 6.14.



Рисунок 6.14 - Выбор украшения для кондитерского изделия

Примеры готовых кастомизированных конфет представлены на рисунке 6.15.



Рисунок 6.15 - Примеры готовых кастомизированных конфет

Следующий *седьмой этап кастомизации* – выбор количества конфет (рисунок 6.20). При создании кастомизированного кондитерского изделия потребитель выбирает количество созданных им конфет. Это может быть любое количество, не превышающее объем коробки. Существует четыре возможных варианта: 9 шт. в коробке; 15 шт. в коробке; 24 шт. в коробке или 30 шт. в коробке. При этом он сможет положить в коробку разные кондитерские изделия в тех количествах, которые им будут выбраны.

Последний завершающий этап – выбор коробки. Существует один вид картонной коробки, отличающийся вместимостью кондитерских изделий. Человек сможет загрузить свой макет с узором, либо выбрать из доступных вариантов подходящий ему дизайн, который будет изображен на коробке (рисунок 6.16).

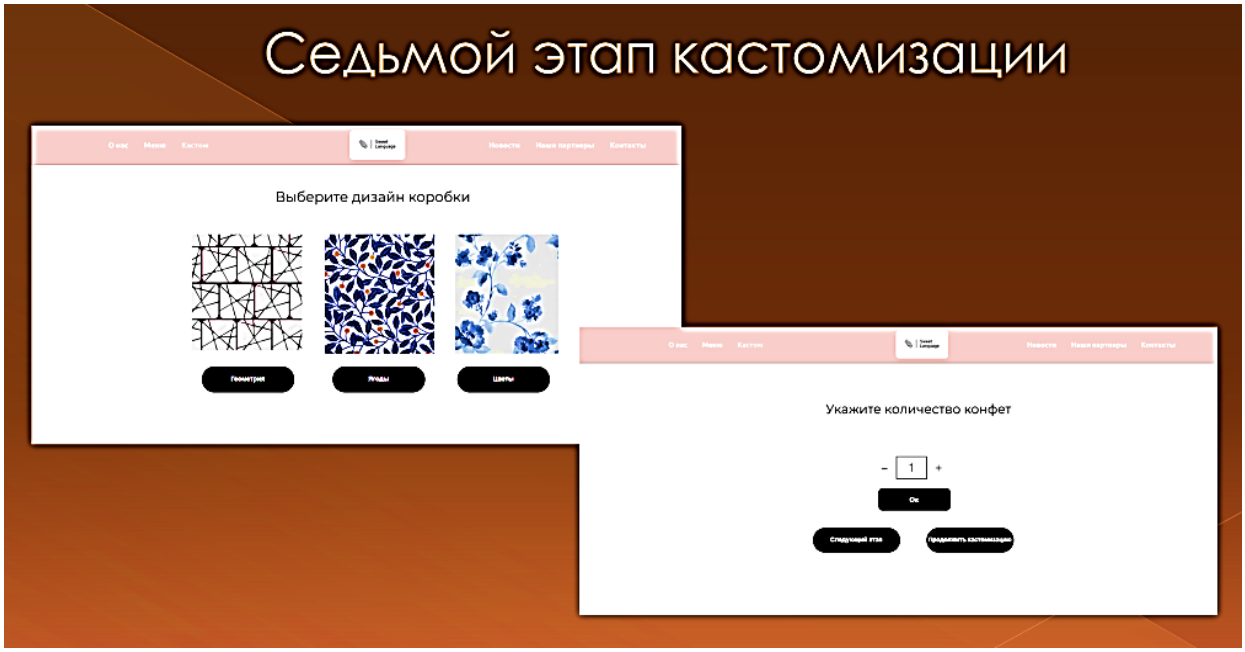


Рисунок 6.16 - Выбор количества конфет и дизайна коробки под них

Разработка данной платформы значительно упрощает этапы кастомизации, сокращая время и затраты на разработку новых продуктов. Это становится возможным благодаря автоматизации процесса создания трехмерных моделей и внедрению модульной системы настройки параметров изделий. Таким образом, производители могут быстро адаптироваться к меняющимся требованиям рынка и предпочтениям потребителей, предлагая им уникальные и персонализированные кондитерские изделия высокого качества.

Разработанная платформа для кастомизации не только способствует повышению конкурентоспособности на рынке, но и удовлетворяет растущие потребности потребителей в индивидуализации и уникальности продуктов питания.

6.5. Создание базы данных для разработки облачной платформы хранения и редактирования трехмерных моделей конфет

Одним из важных направлений цифровизации кондитерской промышленности является использование облачных технологий для создания базы данных. Облачные технологии – это новая возможность повышения объема данных, передаваемых сетью информации на сервер, которую можно образовать, не вкладываясь в создание новых отделов, подготовку разработчиков, или лицензионное программное обеспечение. Суть облачных технологий заключается в предоставлении пользователям удаленного доступа к услугам, вычислительным ресурсам и приложениям через интернет.

Облачная платформа — это комплекс технологий для решения широкого спектра задач: от разработки и запуска корпоративных и пользовательских приложений, до хранения и обработки огромных массивов данных, обучения программных моделей искусственного интеллекта.

В эпоху цифровизации и развития облачных технологий, создание базы данных для разработки облачной платформы хранения и редактирования цифровых трехмерных моделей кастомизированных конфет становится крайне актуальным, перспективным и необходимым направлением в индустрии кондитерских изделий. База данных — это упорядоченный набор структурированных данных или программ, которые позволяют сохранять и получать большие объемы различной информации. БД включают в себя таблицы, которые сохраняют информацию. Создание такой базы данных предоставляет уникальную возможность не только хранить большое количество данных в облаке, доступном из любой точки мира, но и предлагает инструменты для их эффективного редактирования и управления.

Базы данных классифицируются на реляционные и нереляционные.

- В реляционных БД, данные содержатся в формате таблиц, строго структурированы и связаны друг с другом. В таблице есть строки и столбцы, каждая строка представляет отдельную запись, а столбец — поле с назначенным ей типом данных. В каждой ячейке информация записана по шаблону.
- В нерялициоых БД, данные не имеют четкой связи между собой и их структура хаотична. Вместо структурированных таблиц внутри базы данных находятся множество различных документов, в том числе изображения, видео и даже публикации в социальных сетях. Различие реляционных и нереляционных баз данных представлено на рисунке 6.17.

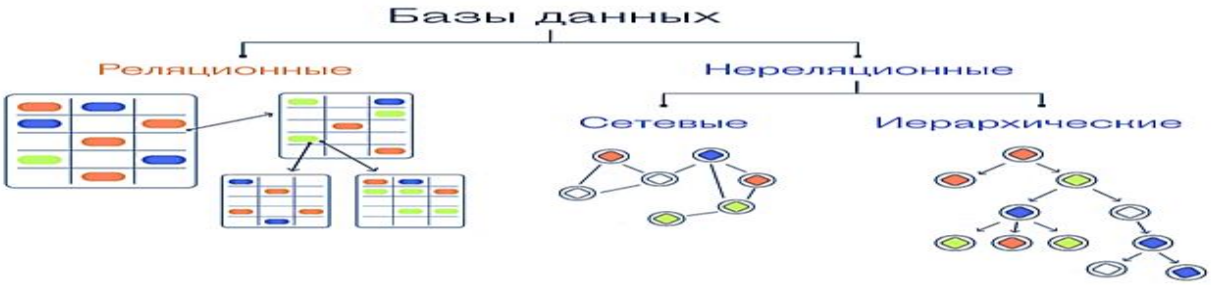


Рисунок 6.17 - Различие реляционных и нереляционных баз данных

Структурирование помогает упорядочить и отсортировать хранимые файлы, по времени, объему, имени, и другим показателям. А также обеспечивает долговечность, атомарность, изолированность, и ускоряет процесс поиска нужных файлов в БД. Для создания базы данных с большим количеством похожих друг на друга файлов реляционная база данных будет более полезна, нежели нереляционная.

Так как база данных — это хранилище, где находится информация, то нам нужно средство чтобы ей управлять. База может принадлежать сайту, приложению, любой программе: там будут находиться сведения, связанные с созданием, хранением и редактированием трехмерных моделей конфет. Система управления базой данных (СУБД) это программный комплекс, который позволяет администрировать базу, защищает ее цельность и анонимность сведений. На рисунке 6.18 показан пример работы СУБД.



Рисунок 6.18 - Пример работы СУБД

Реляционных СУБД огромное множество, поэтому рассмотрим самые популярные и продвинутые. Все реляционные СУБД ориентируются на язык программирования SQL. SQL — это язык запросов с собственной структурой, позволяющий получать информацию из баз данных посредством команд.

Команды, которые используются в SQL, делятся на: получение доступа к данным в системах управления РБД; описывание данных и их структуры; определение данных в БД и управление ими; взаимодействие с другими языками через модули SQL, библиотеки и компиляторы; создание и удаление БД и таблиц; создание представления, хранимые процедуры и функции в БД; установка разрешения на доступ к таблицам, процедурам и представлениям

Так же СУБД разделяются на разные архитектурные модели взаимодействия компьютеров в сети, такие как файл-сервер, клиент-сервер, и встраиваемые.

При работе с *файл-серверной системой* обработка данных происходит на рабочем месте, а сервер применяться только как раздельный накопитель. Каждый пользователь сам использует информацию и вносит изменения в файлы данных и в индексные файлы. При больших объемах данных и работе в многопользовательском режиме сильно снижается быстродействие, поскольку чем больше количество пользователей, тем выше требования к разделению данных. Кроме того, могут возникнуть повреждение баз данных. Например, в момент записи в файл может возникнуть сбой сети или авария питания. В этом случае компьютер пользователя заканчивает работу, а база данных может оказаться поврежденной,

а индексный файл — уничтоженным. Переиндексация, которую необходимо выполнить после подобных сбоев, может продолжаться несколько часов. Так что если база данных будет в постоянном доступе, то лучше отказаться от таких СУБД.

Клиент-серверная СУБД позволяет обмениваться клиенту и серверу минимально необходимыми объёмами информации. При этом основная вычислительная нагрузка ложится на сервер. Клиент может выполнять функции предварительной обработки перед передачей информации серверу, но, в основном, его функции заключаются в организации доступа пользователя к серверу.

В большинстве случаев клиент-серверная СУБД гораздо менее требовательна к пропускной способности компьютерной сети, чем файл-серверная СУБД. Особенно при выполнении операции поиска в базе данных по заданным пользователем параметрам, поскольку для поиска нет необходимости получать на клиент весь массив данных: клиент передаёт параметры запроса серверу, а сервер производит поиск по полученному запросу в локальной базе данных. Результат выполнения запроса, который обычно на несколько порядков меньше по объёму, чем весь массив данных, возвращается клиенту, который обеспечивает отображение результата пользователю. В файл изменения вносятся только после того, как сервер получит сообщение о том, что корректировка файла завершена. Это исключает повреждение индексных файлов и существенно повышает быстродействие системы.

Встраиваемая система управления базой данных — это система, которая может быть связана с клиентским приложением таким образом, чтобы приложение и СУБД работали в едином адресном пространстве. Вместе со встроенной базой данных приложение может быть развернуто как единая программа, которая функциональна, эффективна и автономна. Благодаря связыванию приложения с базой данных, прикладная система выигрывает от снижения общей сложности и уменьшения затрат на администрирование. Во многих случаях встраива-

емая система управления базой данных — самый подходящий вариант для систем с ограниченными ресурсами. Однако, встраиваемые СУБД зачастую подходят лишь для решения задач узкой спецификации.

MySQL — это система управления базами данных.

База данных представляет собой структурированный набор данных. Это может быть что угодно, от простого списка покупок до картинной галереи или огромных объемов информации в корпоративной сети. Чтобы добавлять, получать доступ и обрабатывать данные, хранящиеся в компьютерной базе данных, нужна система управления базой данных, такая как MySQL Server. Поскольку компьютеры очень хорошо справляются с большими объемами данных, системы управления базами данных играют центральную роль в вычислениях как отдельные утилиты или как части других приложений.

Базы данных MySQL являются реляционными. Реляционная база данных хранит данные в отдельных таблицах, а не хранит все данные в одном большом хранилище. Структуры базы данных организованы в физические файлы, оптимизированные для скорости. Логическая модель с такими объектами, как базы данных, таблицы, представления, строки и столбцы, предлагает гибкую среду программирования. Возможно установить правила, управляющие отношениями между различными полями данных, такими как один к одному; один ко многим; уникальные, обязательные или необязательные, а также указатели между различными таблицами. База данных применяет эти правила. Поэтому с хорошо спроектированной базой данных данное приложение никогда не увидит противоречивых, дублирующих, устаревших данных.

SQL-часть «MySQL» означает «язык структурированных запросов». SQL является наиболее распространенным стандартизированным языком, используемым для доступа к базам данных. В зависимости от используемой среды программирования возможно введение SQL напрямую, встраивание оператора SQL в код, написанный на другом языке, или использование специфичный для языка API, который скрывает синтаксис SQL.

PostgreSQL, также известная как Postgres, представляет собой бесплатную систему управления реляционными базами данных (RDBMS) с открытым исходным кодом, в которой особое внимание уделяется расширяемости и соответствию техническим стандартам. Данная система предназначена для обработки целого ряда рабочих нагрузок, от отдельных машин до хранилищ данных или веб-служб с множеством одновременных пользователей. Это база данных по умолчанию для macOS Server, а также она доступна для Linux, FreeBSD, OpenBSD и Windows.

PostgreSQL поддерживает транзакции со свойствами атомарности, согласованности, изоляции, долговечности (ACID), автоматически обновляемыми представлениями, материализованными представлениями, триггерами, внешними ключами и хранимыми процедурами.

SQLite — это встраиваемая кроссплатформенная БД, которая поддерживает достаточно полный набор команд SQL и доступна в исходных кодах. Это облегченная встраиваемая версия СУБД. В ней нет возможности поделиться правами доступа, как во многих других системах. Но благодаря своему устройству эта система быстрая и мощная. SQLite подходит для обработки запросов на сайтах с низким и средним трафиком, а также в однопользовательских мобильных приложениях и играх. Преимущество такой системы — файловая структура, то есть база в SQLite состоит из одного файла, поэтому ее очень легко переносить.

Рассмотрение и анализ БД позволил выбрать SQLite, потому что:

- SQLite не нужен отдельный процесс сервера или системы для работы.
- SQLite изначально с нулевой конфигурацией, что означает отсутствие необходимости в настройке или администрировании.
- Полная база данных SQLite хранится в одном кросс -платформенном диске.
- В SQLite вес базы данных очень маленький, менее 400Кб полностью сконфигурированный или менее 250Кб с дополнительными функциями.

- SQLite является автономной, что означает отсутствие внешних зависимостей.
- SQLite- транзакции полностью совместимы с ACID, обеспечивая безопасный доступ к нескольким процессам или потокам.
- SQLite поддерживает большинство функций языка запросов.
- SQLite при необходимости можно легко расширить и добавить новые таблицы.

На рисунке 6.19 представлена разработанная ER-диаграмма (Entity-Relationship Diagram), иллюстрирующая структуру связей базы данных для такой платформы. Диаграмма включает в себя основные сущности, такие как "Конфеты", "Формы", "Цвета", "Вкусы", и связи между ними, обеспечивая тем самым полное представление о взаимосвязях и процессах внутри системы. Эта диаграмма служит фундаментом для разработки и реализации платформы, упрощая проектирование и последующую разработку базы данных.

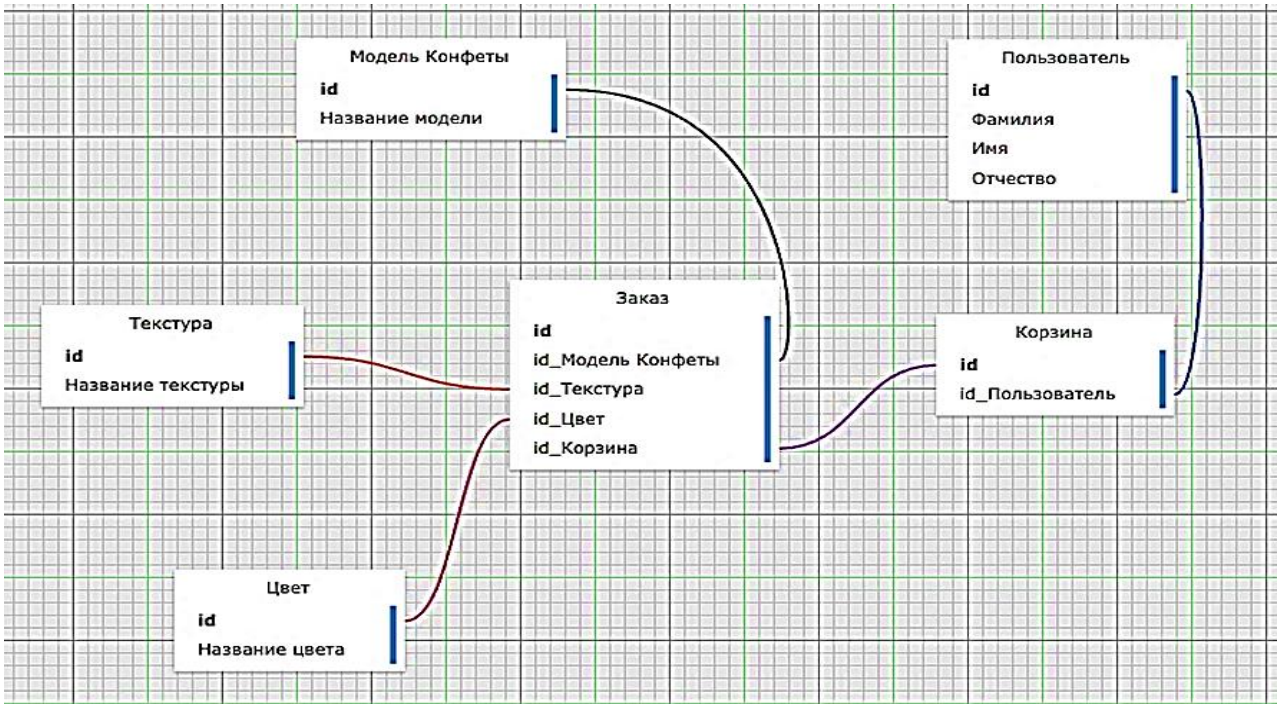


Рисунок 6.19 - ER-диаграмма базы данных платформы для кастомизации кондитерских изделий

Разработанная ER-диаграмма, является ключевым элементом в разработке базы данных для облачной платформы хранения и редактирования трехмерных

моделей конфет. На ней видно, как различные сущности, такие как "Модель Конфеты", "Текстура", "Цвет", "Ингредиенты", "Корзина", и "Пользователь" связаны друг с другом. Это предоставляет наглядное представление о том, как данные будут организованы и какие отношения между ними будут поддерживаться.

На диаграмме "Модель Конфеты" является центральной сущностью, содержащей уникальный идентификатор и название модели. Она связана с "Текстурой" и "Цветом", что позволяет создать множество вариаций одной и той же модели, адаптируя их под индивидуальные предпочтения клиентов. "Ингредиенты" добавляют дополнительный слой кастомизации, позволяя пользователю выбирать состав конфеты, что важно не только для вкуса, но и для учета аллергии или диетических ограничений.

Сущность "Заказ" связывает воедино выбор пользователя, включая выбранную модель конфеты, её текстуру, цвет и ингредиенты, а также указывает на "Корзину", к которой этот заказ принадлежит. Это позволяет легко управлять заказами и их составом, а также оптимизировать процесс подготовки и выполнения заказа.

Пользовательская сущность содержит личную информацию о пользователе, что позволяет настроить платформу для предоставления персонализированного опыта и управления заказами на индивидуальном уровне. Она важна при аутентификации, гарантируя, что доступ к информации и возможность редактирования моделей строго контролируются.

Таким образом, ER-диаграмма демонстрирует структуру данных, на которой будет базироваться облачная платформа. Эта структура лежит в основе разработки всех компонентов платформы и определяет, как данные будут собираться, обрабатываться и представляться пользователям, обеспечивая гибкость и масштабируемость платформы.

База данных в фреймворке django работает по принципу ORM. Это принцип объектно-реляционного отображения. Он является частью технологий про-

граммирования, и объединяет базы данных с положениями языков программирования, создавая виртуальную объектную базу данных. Благодаря этому имеется возможность описывать таблицы базы данных с помощью объектов.

Благодаря применению современных технологий и алгоритмов, база данных обеспечивает высокую скорость доступа к информации, её безопасность и целостность, что крайне важно для поддержания конфиденциальности и защиты интеллектуальной собственности производителей.

Использование облачных технологий позволяет значительно упростить процесс работы над созданием БД, делая его более эффективным и динамичным. Команды разработчиков, дизайнеров и маркетологов могут в реальном времени обмениваться данными и результатами своей работы, что способствует быстрой итерации дизайна продуктов и ускорению их выхода на рынок.

В конечном итоге, создание базы данных для облачной платформы хранения и редактирования трехмерных моделей конфет открывает новые горизонты для инноваций в кондитерской индустрии. Это не только повышает эффективность процессов разработки и производства, но и предоставляет потребителям возможность участвовать в создании уникальных и персонализированных кондитерских продуктов, отвечающих их индивидуальным предпочтениям.

6.6. Разработка облачной платформы для хранения и редактирования трехмерных моделей конфет

Разработка облачной платформы для хранения и редактирования цифровых трехмерных моделей кастомизированных конфет требует использования комплекса интеллектуальных технологий для решения широкого спектра задач, оптимизации работы с трехмерными моделями конфет, включая их формы, текстуры, цвета и потенциальные вкусовые характеристики.

Для создания облачной платформы нужна подходящая среда разработки. Фреймворк - это программная платформа, определяющая структуру программной системы; программное обеспечение, облегчающее разработку и объединение разных компонентов, необходимых для создания веб-приложения.

Одним из перспективных фреймворков является Ruby on Rails - это фреймворк с отрытым исходным кодом, основой которого является язык программирования Ruby, созданный в 2005 году и основанный на языках Html, css и javascript. Ruby пользуется популярностью, так как помогает создавать сложные сайты за очень короткий срок. Благодаря гибкости языка код получается легким для написания веб-приложений.

Принципиальная разница между Rails и другими фреймворками, заключается в скорости и простоте. Изменения, внесенные в приложение, моментально применяются, избегая длительных стадий, связанных с циклом веб разработки.

Синтаксис Ruby одновременно напоминает Python, Perl и Pascal — из-за открывающих и закрывающих блоков. Динамическая типизация — главное преимущество Ruby. С ней можно не запоминать типы переменных.

Ruby — это интерпретируемый язык программирования, то есть ему не нужна предварительная компиляция в машинный код, чтобы запустить программу. Вместо этого интерпретатор выполняет программы напрямую, последовательно считывая файл от начала до конца. Это дает Ruby on Rails значительные плюсы по сравнению с другими фреймворками:

- Устанавливая интерпретатор, можно сразу запустить код.
- Динамическая типизация сама определяет тип данных.
- Возможность добавлять новые модификации.

Но также и существуют минусы:

- Низкая скорость выполнения команд.
- Иногда типизация ошибается и приходится искать ошибки вручную.
- Невозможность эффективно использовать ядра процессора.
- Высокая потребность в памяти.

Python django это универсальный Web фреймворк для написания безопастных и поддерживаемых сайтов с высоконагруженными системами и большим трафиком данных. Django с момента запуска полностью подготовлен к дополни-

тельным возможностям и масштабируется. Это позволяет создавать Web-приложения, которые принимают на себя большой трафик и большие потоки информации. Так же он работает с большинством основных БД и позволяет использовать ту, которая больше подходит для конкретной задачи.

Платформа на Django строится из одного или нескольких приложений, которые рекомендуется делать отчуждаемыми и подключаемыми. Это одно из существенных архитектурных отличий этого фреймворка от других. В Django осуществлен мощный движок шаблонов и индивидуальный язык разметки, представляющие собой файлы с HTML-кодом, с помощью которых отображаются данные. Содержимое файлов может быть статическим или динамическим. Шаблоны не содержат бизнес-логики. Поэтому они только отображают данные.

Для работы с БД Django использует собственный ORM, в котором модель данных описывается классами Python, и по ней генерируется схема БД. Схема структуры model-view-controller представлена на рисунке 6.20.

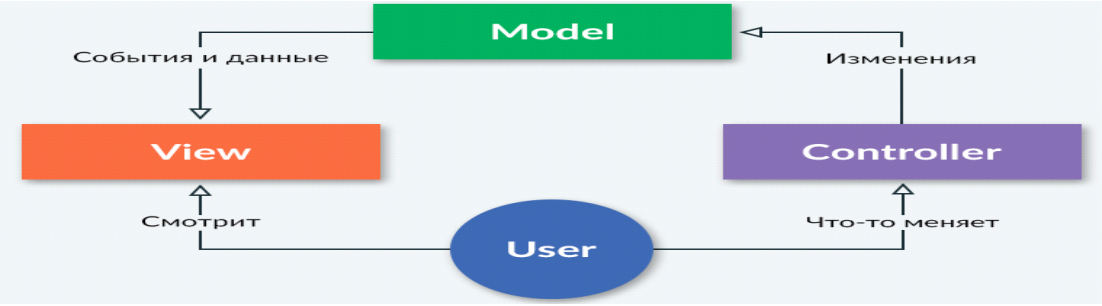


Рисунок 6.20 - Схема структуры model-view-controller

Веб-приложения, написанные на Django, обычно группируют код, который обрабатывает каждый из этих шагов, в отдельные файлы:

Model - получает сигналы от контроллера и перестраивает свое состояние.

View (Представление) - отображает данные, полученные из модели отвечая на изменения модели. *View* это то место, где размещается логика работы программы. Запрошенная информация из model передается в HTML через View.

Controller (Контроллер) - дает сигнал модели о необходимости изменений в зависимости от работы пользователя.

Шаблон проектирования MVC позволяет отделить логику программы от её отображения. И разделяет информацию из веб-приложения на три элемента, которые зависят друг от друга.

Алгоритм работы model-view-controller:

- Когда пользователь заходит на сайт, программа создает приложение и запускает его. И при всем этом отображается вид основной странички веб-сайта.
- Приложение принимает сигнал от пользователя и ищет нужные контроллер и действие.
- Приложение создает экземпляр контроллера и метод действия, в котором содержатся вызовы модели, считывающие информацию из базы данных.
- В конце контроллер формирует представление с данными, полученными из модели, и выводит этот результат.

Пользователи используют различные типы устройств и это нужно учитывать при создании веб-приложения. Предоставляемый интерфейс должен различаться, если запрос приходит с ПК или с мобильного телефона.

Модель возвращает одинаковые данные. Единственное различие заключается в том, что контроллер выбирает различные виды для вывода данных.

Помимо изолирования видов от логики приложения, концепция MVC существенно уменьшает сложность больших приложений. Код получается гораздо более структурированным, и, тем самым, облегчается поддержка и тестирование.

Из представленных выше фреймворком для нашей работы больше всего подойдет Django. Возможность быстрого создания администраторской панели и подключения любой базы данных, является огромным плюсом, а различные шаблоны и плагины помогут автоматизировать платформу.

Используя облачные технологии, платформа обеспечивает доступ к трехмерным моделям в любое время и с любого устройства, что значительно упрощает процесс работы и сокращает время для внесения изменений в продукт.

В основе платформы лежит продуманная БД, которая упрощает управление данными и обеспечивает их безопасность и целостность. С помощью этой системы производители могут хранить детальную информацию о каждой модели, включая текстуры, цвета и ингредиенты, а также могут легко отслеживать историю изменений и версий дизайна, чтодает возможность более эффективно управлять существующими моделями, а также способствует инновационному процессу создания новых изделий. Интерфейс платформы разработан таким образом, чтобы быть понятным и удобным для всех пользователей, независимо от их технического опыта. Он позволяет легко переходить от одной операции к другой, будь то изменение масштаба модели, её формы или цветовой палитры. Также платформа может быть интегрирована с различными CAD-программами и системами управления производством, что делает её неотъемлемой частью ТП производства кондитерских изделий. В конечном итоге, облачная платформа для хранения и редактирования трехмерных моделей конфет открывает новые возможности для кондитерских фабрик и небольших мастерских, позволяя им быстро адаптироваться к меняющимся требованиям рынка и предпочтениям клиентов, тем самым укрепляя свои позиции на рынке и расширяя круг своих покупателей.

6.7. Создание Web-сайта с возможностью кастомизировать кондитерское изделие

В насоящее время, в условиях, когда всё больший процент населения осваивает и активно использует интернет-пространство, наиболее целесообразным путем введения кастомизации является создание вебсайта с генератором сборки заказа.

Создание вебсайта также имеет ряд следующих преимуществ. Во-первых, посетитель сможет сделать заказ в нерабочее время. Во-вторых, у человека есть возможность сразу же получить больше информации об ингредиентах, технологии сохранения БАД, преимуществе функциональных продуктах питания. В-третьих, сайт косвенно влияет на отношение продукции от организации – если он

красиво оформлен и на нем приятно работать, посетители обязательно это заметят. В-четвертых, сайт помогает оптимизировать рабочий процесс сотрудников, так как уже не будет необходимости тратить время на общение с клиентами – можно больше рабочей силы и времени вложить в процесс производства. Ну и, в-пятых, это наличие БД, куда приходит информация о клиенте и выборе кондитерского изделия, что автоматизирует такие процессы как анализ рынка, вкусы потребителя, их предпочтения и т. д. Это не только способствует увеличению продаж и улучшению пользовательского опыта, но и укрепляет бренд предприятия, делая его более запоминающимся и предпочтительным среди конкурентов.

Для создания и проработки полноценного сайта технологии кастомизации, его визуальной и технической части, основными платформами являются: Figma; Tilda; Turbologo; языки программирования HTML, CSS, Python; интерпретатор Visual Studio Code.

Figma – графический онлайн – редактор, в котором производится большая часть действий по визуальной составляющей вебсайта [39]. То есть, если разбить создание платформы для кастомизации на этапы, это будет первоначальным этапом, где прорабатывается визуальная концепция всего сайта для последующей верстки. Так как это онлайн – редактор, вся информация о проделанной работе сохраняется в облачную БД, что делает возможным совместную работу над проектами. Данный ресурс включает в себя различные фреймы и компоненты для более удобного редактирования и оформления элементов будущего сайта. Более того, Figma является бесплатным онлайн ресурсом при условии, что создает проект один человек.

Tilda – блочный конструктор вебсайтов, который позволяет создавать большую часть «front-end» разработки сайта на абсолютно разные тематики [112]. При этом данный ресурс не требует навыков программирования, является удобным, понятным и практичным. Создание сайтов здесь происходит, благодаря использованию большого количества разных тематических блоков и их со-

четания между собой. Главным преимуществом данной платформы является автоматическая адаптация информации под мобильную версию. Также доступен предпросмотр проектов. Сервис является платным, но есть пробный период сроком в две недели. За этот промежуток времени можно вникнуть в принцип работы ресурса и попробовать самостоятельно сделать несколько проектов. Поэтому, конструктор сайтов Tilda мы берем во внимание только за внешний дизайн, который далее будем верстать с помощью HTML и CSS.

Turbologo – онлайн ресурс по созданию логотипов для организации. Здесь можно выбрать тематику, основные элементы и слоган – в ответ на данный запрос будут предложены возможные варианты логотипов. Данный ресурс также является актуальным при создании вебсайта, так как при разработке дизайна нужно максимально подробно все визуально интерпретировать, чтобы лучше раскрыть концепцию организации в глазах аудитории.

HTML – язык гипертекстовой разметки, который используется при создании абсолютно каждого вебсайта. Все буквы, цифры, картинки, заголовки и подзаголовки, представленные на сайте, возможны благодаря данному языку. HTML состоит из определенных команд, которые имеют свои функции. Главный принцип работы заключается в преобразовании браузером файла в формате «.html» и дальнейшей его расшифровке. Язык гипертекстовой разметки считается наиболее понятным и простым языком [140].

CSS – каскадная таблица стилей или язык стилей, предназначенный для описания внешней составляющей вебсайта. Данный язык программирования отвечает за цвет, стиль шрифта, длину, ширину, привязку к блокам. Используется в связке с HTML и JavaScript при верстке сайтов. Также CSS имеет намного больше возможностей для форматирования текста по сравнению с HTML, и является основным инструментом в оформлении дизайна сайта, в обучении считается немного сложнее, чем HTML [253].

Python – высокоуровневый язык программирования, используемый в «back-end» разработке при создании вебсайтов [164]. Это значит, что все внутренние процессы, а именно БД, серверная часть и взаимодействия между «front-end» и «back-end» разработками производится благодаря данному языку программирования. Python является одним самых простых языков «back-end» разработки, отличается лаконичностью и наличием удобных фреймворков для работы с БД, таких как Django и Flask. Является объектно-ориентированным языком программирования и преследует задачу повышения производительности разработчика. Недостатками данного языка является более низкая скорость подключения и высокое потребление памяти написанного кода.

Visual Studio Code – редактор исходного кода, то есть та платформа, куда заносится первоначальный код на различных языках программирования [144]. В дальнейшем этот код расшифровывается, благодаря внутренним плагинам, которые устанавливаются внутри редактора. Отличается от других редакторов наличием кастомизации внутри приложения – разработчик может настроить под себя пользовательские темы, сочетания клавиш и иные настройки для программ.

Для разработки дизайна сайта было сделано сравнение двух платформ Figma и Tilda

Для создания платформы для кастомизации конфет сначала был подготовлен макет веб-сайта. Опираясь на макет, был спроектирован прототип в графическом редакторе Figma. Параллельно с этим был разработан первоначальный дизайн сайта, представленный на рисунках 6.21 (1 страница) и 6.22 (2 страница).



Рисунок 6.21 - Прототип дизайна сайта (1 страница)



Рисунок 6.22 - Прототип дизайна сайта (2 страница)

Учитывая анализ достоинств и недостатков разработанного первого варианта прототипа конфигуратора, а также визуальную составляющую данного сайта, было принято решение продолжить работу далее, и улучшить дизайн полученного сайта. Было принято решение, что на данном этапе создания платформы для кастомизации нет необходимости создавать главный экран, на котором будет отображаться поэтапное наложение слоев кондитерского изделия. Для того чтобы осуществить такую идею на практике, была проработана визуальная составляющая каждого отдельного элемента конфеты, также проработан каждый слой конфеты и условия наложения этих слоев друг на друга. В результате доработок была изменена первоначальная концепция и создана платформа для кастомизации кондитерских изделий без главного интерфейса. Каждый новый этап представлялся перед пользователем в новом окне сайта. Такой метод оказался более удобным и легко осуществимым с практической точки зрения. Пример готового дизайна сайта и платформы для реализации кастомизации при помощи вебсайта, спроектированного на Tilda, представлен на рисунке 6.23.

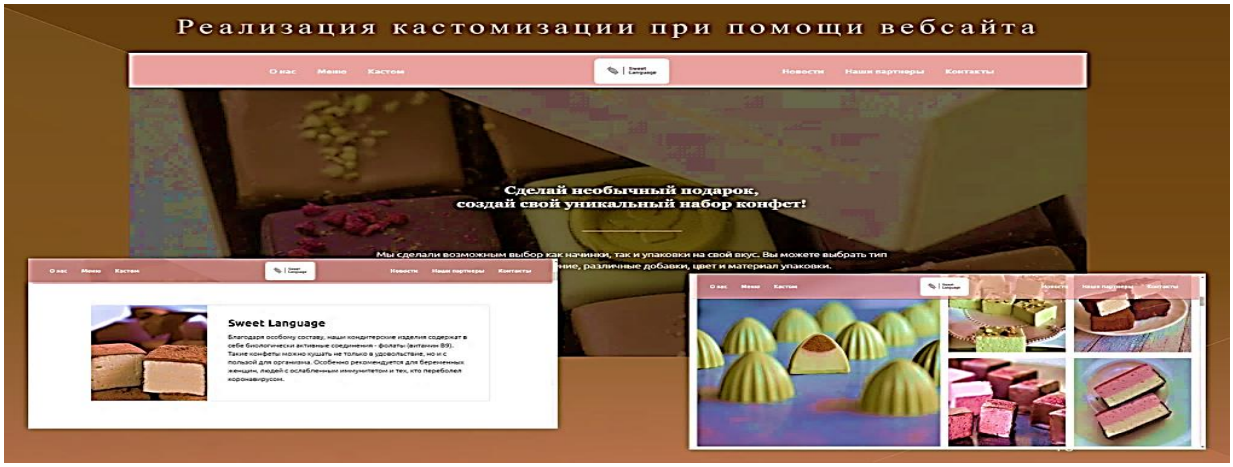


Рисунок 6.23 - Дизайн главных страниц вебсайта

После перехода в раздел «Кастом», пользователь обучается с помощью инструкции, как работать с платформой для кастомизации (рисунок 6.24). И после этого, ему становится доступным первый этап.

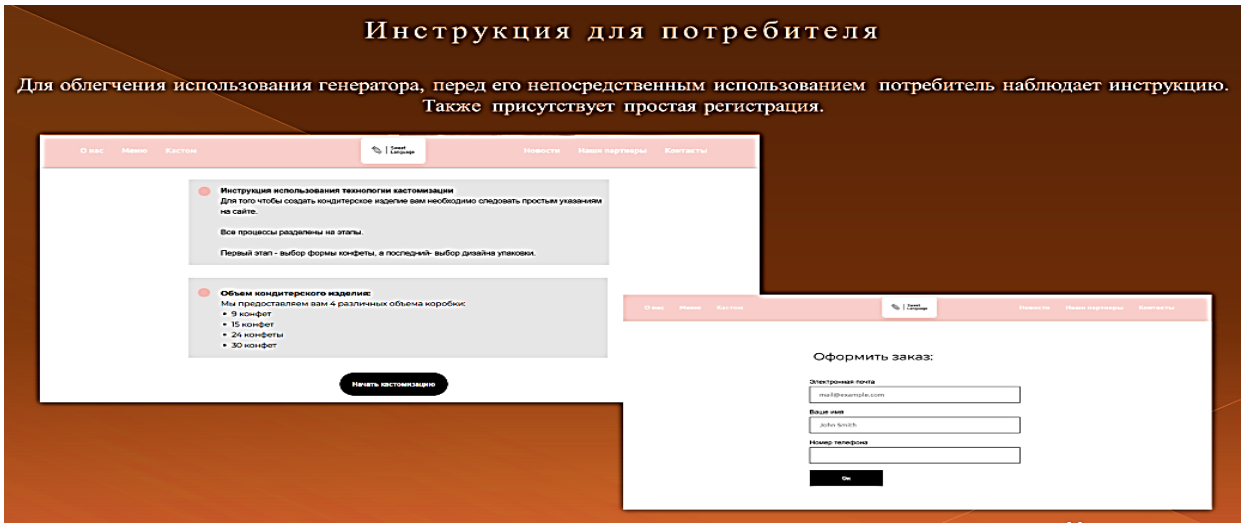


Рисунок 6.24 - Инструкция по работе с платформой для кастомизации

В основе веб-сайта лежит интуитивно понятный интерфейс, где потребители могут визуально собирать свое кондитерское изделие, начиная от базовой формы и заканчивая украшениями и добавками. Процесс начинается с выбора основы изделия, где клиенты могут увидеть 3D-модель того, что они создают, и изменять её в соответствии с их предпочтениями. Далее предоставляется возможность выбора текстуры и цвета глазури, а также добавления разнообразных наполнителей и ароматизаторов. Каждое изменение, вносимое пользователем, отражается в реальном времени на модели, давая ему полное представление о том, как будет выглядеть финальный продукт.

Также важной функцией платформы веб-сайта является интеграция с системой электронной коммерции, что позволяет пользователям не только создавать, но и немедленно заказывать свои уникальные кондитерские изделия. Веб-сайт соединяется с производственными системами, обеспечивая автоматизированный перенос пользовательских настроек в процесс изготовления уникальных кондитерских изделий. Это уменьшает вероятность ошибок и сокращает время, необходимое для обработки заказа. Кроме того, платформа включает в себя систему управления контентом (CMS), которая позволяет администраторам веб-

сайта легко обновлять ассортимент продукции, регулировать цены и проводить маркетинговые кампании, например, предлагая сезонные или праздничные специальные предложения.

6.8. Создание информативного Web- приложения для продвижения кондитерских изделий

Создание информативного веб-приложения является ключевым шагом в стратегии продвижения кондитерских изделий. Такое приложение служит не только витриной для представления продукции, но и мощным инструментом вовлечения и удержания клиентов, а также сбора ценной обратной связи и аналитических данных.

В веб-приложении могут быть подробные описания продуктов, истории их создания, информация об ингредиентах и пищевой ценности, а также интерактивные элементы, такие как видеорецепты, мастер-классы и обучающие модули. Ключевыми функциями такого приложения могут быть:

1. *Каталог продукции* – детальный и легко навигируемый раздел, где каждое кондитерское изделие представлено с качественными изображениями, описанием, составом и подробной пищевой информацией.
2. *Персонализированные рекомендации* – алгоритмы, которые анализируют предпочтения пользователей и предлагают им товары в соответствии с их вкусами и предыдущими покупками.
3. *Интерактивные участки* – возможность для пользователей создавать свои собственные дизайны кондитерских изделий, что увеличивает вовлеченность и способствует долгосрочному интересу к бренду.
4. *Блог и новости* – регулярно обновляемый раздел с новостями о компании, статьями о трендах в кондитерской отрасли, советами и рецептами.
5. *Отзывы и рейтинги* – интеграция с функцией отзывов и рейтингов позволяет новым клиентам лучше ориентироваться в выборе и повышает доверие к бренду.

6. *Маркетинговые акции и лояльность* – функционал для проведения маркетинговых кампаний, включая скидки, купоны, программы лояльности и соревнования для пользователей.

6.9. Тенденции кастомизации кондитерской индустрии в будущем

Кастомизация в кондитерской индустрии в будущем представляет собой не просто временное явление, а долгосрочное направление развития цифровизации кондитерской промышленности, которое будет продолжать расти и развиваться в соответствии с технологическим прогрессом и изменениями в потребительских предпочтениях. Это открывает новые горизонты для индустрии и предлагает уникальные возможности для тех, кто готов инвестировать в инновации и персонализацию своих продуктов.

Индивидуализация продуктов питания становится не просто модным трендом, но и неотъемлемой частью современного производственного процесса. Технологические инновации, такие как искусственный интеллект, машинное обучение и 3D-печать, открывают безграничные возможности для создания пищевых продуктов, которые не только вкусны, но и полностью адаптированы под индивидуальные предпочтения и пищевые потребности каждого потребителя.

Тенденции кастомизации в пищевой индустрии обещают радикально изменить отношение потребителей к покупке и потреблению кондитерских продуктов. В будущем, мы можем ожидать, что кастомизация станет стандартом, а не просто важной услугой. Уже сейчас наметился рост интереса к личностному подходу в питании, когда потребитель может не только выбирать ингредиенты, но и определять их пропорции, способы приготовления и упаковку.

Основываясь на развитии технологий, будущее кастомизации в пищевой индустрии будет поддерживаться интеллектуальными цифровыми технологиями, которые могут анализировать предпочтения и пищевые требования отдельного индивидуума. Это позволит создавать уникальные продукты питания, оптимизированные под нужды каждого человека, учитывая его здоровье, образ жизни и даже биомаркеры.

Будущие технологии печати пищи 3D также будут способствовать кастомизации, позволяя формировать продукты питания в соответствии с индивидуальными запросами клиентов прямо на месте продаж. Это откроет двери для творчества и индивидуальности в таких областях, как кондитерские изделия, где клиенты могут заказывать сладости нестандартной формы и со своим дизайном.

Прорывом в кастомизации станет и развитие персонализированных диетологических планов, основанных на генетическом анализе и микробиоме кишечника. Подобные инновации позволят каждому человеку подбирать оптимальный рацион питания, способствующий его здоровью и благополучию.

Помимо технологического прогресса, необходимо отметить и изменения в потребительском спросе. Современные потребители все больше интересуются происхождением продуктов, их устойчивостью и влиянием на окружающую среду. Кастомизация позволит компаниям предоставлять информацию о локальности, экологичности и социальной ответственности каждого индивидуального заказа, что усилит доверие и лояльность клиентов.

Потребительские предпочтения также играют значительную роль в формировании будущего пищевой индустрии. С ростом осведомленности о влиянии питания на здоровье и окружающую среду, потребители все более склоняются к выбору продуктов, которые не только вкусны, но и произведены устойчивым и ответственным способом. Кастомизация позволяет брендам не только удовлетворять эти запросы, но и активно вовлекать клиентов в процесс создания продукта, что укрепляет их лояльность и узнаваемость бренда.

6.10. Выводы по 6 главе

Данный раздел посвящен использованию технологий виртуальной, дополненной реальностей и кастомизации для разработки новой линейки персонализированной 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 шаги 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 перевод новых изделий в цифровую форму с помощью программного обеспечения для 3D-моделирования. Проиллюстрирована наибольшая перспективность применения программы Blender для создания точных цифровых трехмерных моделей 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.

- Подготовлен макет вебсайта. Опираясь на макет был спроектирован прототип сайта в графическом редакторе Figma. Параллельно с этим был разработан первоначальный дизайн вебсайта, после апробации которого был спроектирован и разработан вебсайт 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. Представлены ключевые функции такого приложения. Раскрыты тенденции кастомизации в будущем.

ГЛАВА 7. СОЗДАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ КОНДИТЕРСКОЙ ПРОДУКЦИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ЕЕ РЕАЛИЗАЦИИ

7.1. Основные задачи интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кондитерской продукции в процессе производства

Интеллектуальная автоматизированная система контроля и управления качеством (ИАСКиУК) кондитерской продукции в процессе производства должна решать следующие задачи:

- автоматический контроль (АК) сырья в потоке (коэффициент извлечения примесей в сахарном песке, семенах подсолнечника, орехов, какао бобов, др.; угол естественного откоса и внешний вид сыпучего сырья) на основе наблюдения (мониторинга) информации, поступающей в режиме реального времени;

- АК полуфабрикатов (цвет, вкус, запах, консистенция, вязкость) на основе мониторинга информации, поступающей в режиме реального времени;

- АК контроль органолептических показателей готовой кондитерской продукции (вкус, запах, цвет, форма, блеск, внешний вид и т.д.) на основе мониторинга информации, поступающей в режиме реального времени;

- непрерывный АК технологических и режимных параметров ТП производства кондитерской продукции в режиме реального времени с архивированием полученной информации;

- контроль соблюдения существующих на кондитерских предприятиях параметров качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий, определение этапов производства с отклонением заданных параметров качества от установленных требований, выявление некондиционной продукции (брака).

Поскольку для обеспечения требуемого качества производства кондитерской продукции необходимо в ходе ТП не только выявлять брак, дефекты и несо-

ответствия, но и предупреждать их появления, важной задачей ИАСКиУК является также прогнозирование качества готовых кондитерских изделий. Поэтому в числе важных задач ИАСКиУК:

- прогнозирование качества готовой продукции для предотвращения выпуска изделий, не соответствующих требованиям нормативных документов.

Для этого интеллектуальная автоматизированная система должна принимать управленческие решения в реальном времени в условиях неопределенности ведения ТП производства кондитерской продукции. Поэтому еще одной задачей ИАСКиУ является управление на основе использования разработанных цифровых двойников.

Нами была проведена работа со специалистами по автоматизации и информатизации различных кондитерских фабрик России и составлены пожелания и потребности кондитерских предприятий по архитектуре и задачам разрабатываемой ИАСКиУК выпускаемой продукции, касающиеся обеспечения безопасности работы с системой; надежности; простоты обслуживания и эксплуатации; защищенности системы управления от вандалов; возможности расширения ее функций; открытости; модульности структуры системы и т.д.

7.2. Обобщенная функциональная структура ИАСКиУК кондитерской продукции и основные этапы ее реализации

Обобщенная функциональная структура интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством (ИАСКиУК) кондитерской продукции представлена на рисунке 7.1.

Показанный на рисунке 7.1 объект управления (ОУ) – это линия производства определенного вида кондитерской продукции. Совместно функционирующие ОУ и управляющая им ИАСКиУК образуют интеллектуальный автоматизированный технологический комплекс.



Рис. 7.1 - Схема работы ИАСКиУК кондитерской продукции

ИАСКиУК кондитерской продукции представляет собой систему контроля и управления, обеспечивающую автоматизированный сбор информации, необходимой для оптимизации управления технологическим объектом, осуществляющую переработку полученной технологической и другой информации с использованием интеллектуальных технологий. И на этой основе, осуществляющий выработку и реализацию управляющих воздействий на ОУ. Важный признак ИАСКиУК – это осуществление управления в реальном масштабе времени протекания ТП производства кондитерской продукции.

В состав ИАСКиУК кондитерской продукции (рисунок 7.1) входят современные информационно- измерительные автоматические средства сбора и переработки информации, механизм обобщения накопленного опыта и пополнения, механизм логического вывода, база данных и база знаний, алгоритм управления, исполнительные механизмы, программа достижения целей. Обобщенная ИАСКиУК кондитерской продукции имеет управляющие, информационные и вспомогательные функции.

К управляющим функциям системы управления относится регулирование (стабилизация) отдельных основных технологических параметров, характеризующих ход процесса производства кондитерской продукции определенного вида; оптимальное управление всеми стадиями этого производства; управление режимными параметрами используемого оборудования; адаптивное управление линией производства кондитерской продукции в целом.

ИАСКиУ качеством кондитерской продукции выполняет сбор, обработку и представление полученной информации о состоянии производства для последующей ее обработки или передачи полученной информации оперативному персоналу, что является информационными функциями данной интеллектуальной системы.

К вспомогательным функциям данной ИАСКиУК относится контроль состояния технических и программных средств системы.

На основании проведенных нами исследований была разработана функциональная структура ИАСКиУК кондитерской продукции в процессе производства, представленная на рисунке 7.2.

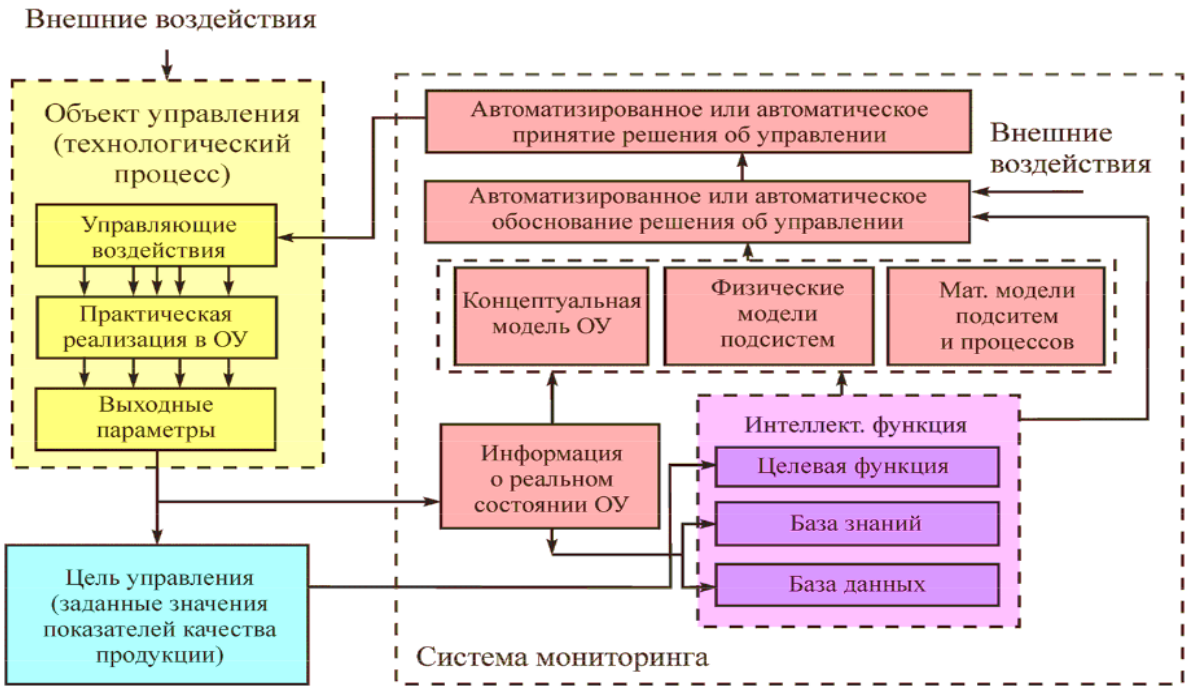


Рис. 7.2. Функциональная структура ИАСКиУК кондитерской продукции

Как показал анализ функциональной структуры ИАСКиУК, одной из важнейших задач, которые решает данная система является АК в режиме реального времени основных органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий в процессе производства этой продукции, что стало возможным с использованием разработанных нами интеллектуальных средств автоматического контроля этих органолептических показателей качества (глава 3).

7.3. Разработка основных видов обеспечения ИАСКиУК кондитерской продукции

7.3.1. Информационная инфраструктура обеспечения ИАСКиУК кондитерской продукции

В структуре ИАСКиУК для сбора информации разработана БД с модулем «Сбор информации о показателях качества, определяемых лабораторными методами». Для структурирования этой информации разработана модель – дерево целей, которая позволяет упорядочить и объединить цели в единый комплекс (рисунок 7.3). Свойства сырья, полуфабрикатов и готовых кондитерских изделий представлены в разработанной БД справочными таблицами, содержащими их характеристики.



Рис. 7.3 - Модель- дерево целей БД ИСАКиУК кондитерской продукции

Для создания БД ИАСКиУК были использованы результаты проведенных нами исследований ТП производства различных кондитерских изделий. На рисунке 7.4 представлены существующие взаимосвязи в БД, что позволяет автоматизировать их обработку. Построенная БД может функционировать самостоятельно или быть интегрирована в прикладные программы проектирования ИАСКиУК различной кондитерской продукции.

Внедрение единой базы БД, интегрирующей разрозненные данные, в ИАСКиУК кондитерской продукции позволит специалистам гибко вносить изменения в имеющиеся типовые методики расчета, а также давать рекомендации по контролю свойств и характеристик сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции в целях выявления причин снижения качества производимых конфет и возникновения дефектов в режиме реального времени.

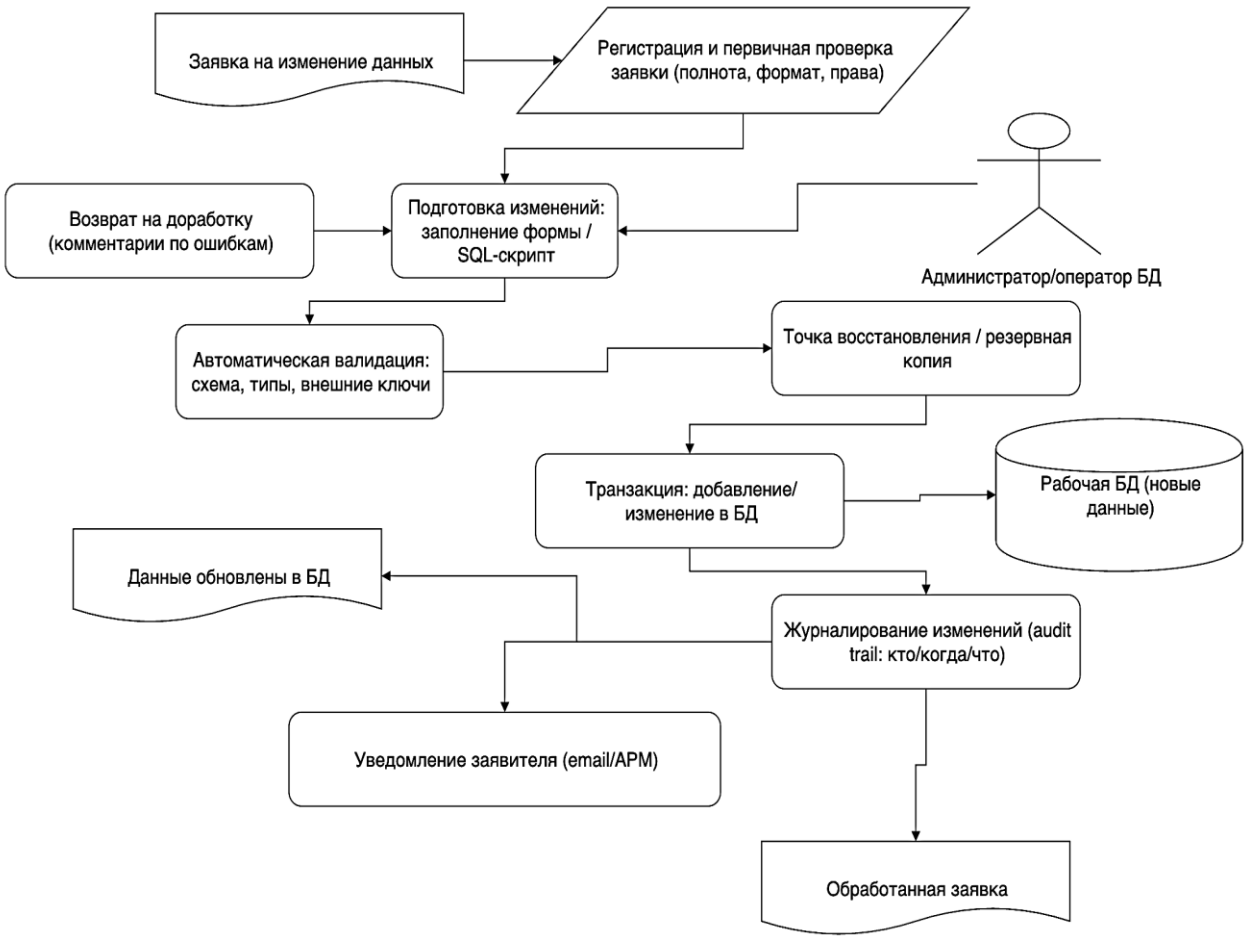


Рис. 7.4 - Диаграмма изображения существующих в БД взаимосвязей

Разработанная специализированная БД ИАСКиУК является единой информационной средой, осуществляющей информационное обеспечение контроля органолептических показателей качества кондитерской продукции.

Предусмотрены три категории пользователей и соответствующие им виды санкционированного доступа к информации в БД: 1) разработчики ПО, связанного с БД – открыт формат данных, разрешено добавление в БД новой информации и удаление старой; 2) пользователи, использующие БД– допускается добавление и удаление данных; 3) пользователи БД в качестве информационно-поисковой системы не имеют возможности самостоятельно изменять содержимое БД.

Как видно из рисунка 7.2, организации информационного обеспечения ИАСКиУК кондитерской продукции кроме базы данных (БД), включает также БЗ (базу знаний), представляющую собрание моделей, правил и данных для решения сложных задач в области контроля и управления качеством кондитерских масс. БЗ являются основой ИАСКиУК. При отладке БЗ ИАСКиУК кондитерской продукции необходимо учитывать, что при создании интеллектуальных систем, в основном, используется концепция «быстрого прототипа», когда БЗ наращивается постепенно. И первым шагом при этом является создание прототипа – действующей модели принятия решения, которая должна продемонстрировать пригодность выбранных способов формализации знаний. При успешном прототипе БЗ разработчики накапливают знания о предметной области и совершенствуют модель знаний системы.

БЗ – занимает центральное положение по отношению к остальным компонентам ИАСКиУК и способствует эффективному процессу интеграции компонентов. Знания в ИАСКиУК предлагается представить в виде фактов и правил. Структура базы знаний представлена на рисунке 7.5.

Был проведен выбор функционала БЗ. Наполнение базы знаний реализовывалось на языке представления знаний системы ИНТЕР-ЭКСПЕРТ GURU средствами: автоматического извлечения знаний из БД с использованием метода прямого извлечения знаний из экспертов.



Рисунок 7.5 - Структура базы знаний

Проведенные нами подробные исследования основных видов обеспечения ИАСКиУК кондитерской продукции представлен в наших публикациях [25 – 35].

Анализ научных публикаций в этой области показал, что в последнее время стала популярной модель представления знаний с помощью нейронных сетей.

7.3.2. Математическая инфраструктура обеспечения ИАСКиУК кондитерской продукции

Для обеспечения математической инфраструктуры ИАСКиУК кондитерской продукции была составлена схема решения первоочередных задач моделирования и оптимизации управления качеством кондитерских изделий

Проведенные нами исследования показали первоочередную необходимость создания единого информационного пространства для описания всех этапов и всего производства продукции в целом. Результатом таких разработок является появление множества производственных маршрутов производства кондитерской продукции, определенных с учетом выбранного критерия оптимизации

(стоимость производства каждого вида кондитерских изделий, времени, качества и других критериев).

Для решения описанной задачи необходимо:

• построение структурно- параметрических, математических, ситуационных и имитационных моделей ТП на каждом этапе производства определенного вида кондитерской продукции (что было получено в 4 главе);

• определение приоритетов показателей в полученных моделях в обобщенном критерии качества (также были определены приоритеты и построены модели качества сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции);

• оптимизация модели качества (такая работа была проведена и ситуационные модели качества готовой кондитерской продукции были разработаны в 4 главе).

При решении задач, связанных с выбором методов оптимизации и определения весовых коэффициентов математических моделей качества получаемого сырья, полуфабрикатов и готовых конфет, использовались сведения, предоставленные предприятиями кондитерской промышленности России.

7.3.3. Программная инфраструктура ИАСКиУК кондитерской продукции

Программная инфраструктура обеспечения ИАСКиУК кондитерской продукции, представленная на рисунке 7.6, представляет собой совокупность инструментальных средств, которые обеспечивают необходимое качество готовой кондитерской продукции и выполняют следующие функции:

- Исследование полученных производственных показателей.
- Для каждой кондитерской продукции нейросетевое ядро ИАСКиУ автоматически анализирует текущее состояние соответствующего производства и производит выбор наиболее рациональных режимов работы.
- Идентификация разработанных структурно- параметрических, математических, ситуационных и имитационных моделей всех этапов производства кондитерской продукции разных видов и оптимизация технологических и режимных параметров каждого исследуемого производства.

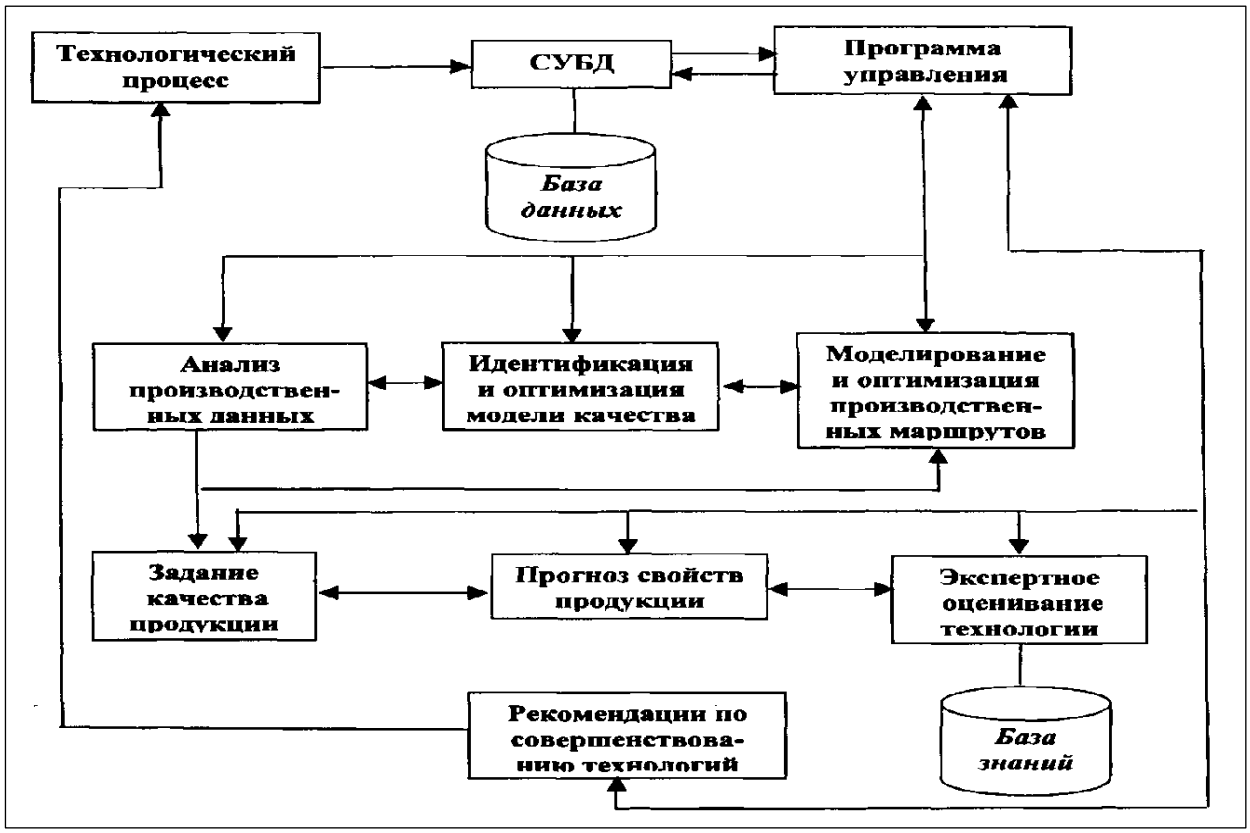


Рис. 7.6 - Программная инфраструктура ИАСКиУК кондитерской продукции

- Прогноз изменения органолептических показателей качества кондитерской продукции при варьировании условий обработки полуфабриката.
- Возможность экспертного оценивания технологических и режимных параметров линии производства каждой кондитерской продукции на основе предварительной обработки знаний экспертов и получение результатов прогноза качества выпускаемых готовых кондитерских изделий.

Анализ полученных данных позволяет получить от ИАСКиУК экспертное заключение с прогнозом качества выпускаемых изделий, а также получить рекомендации по совершенствованию кондитерского производства.

Структура программного обеспечения информационной поддержки ИАСКиУК кондитерской продукции представлена на рисунке 7.7.

Основные функции данной структуры: прием данных от удаленных пользователей и передача им результатов обработки данных знаний.

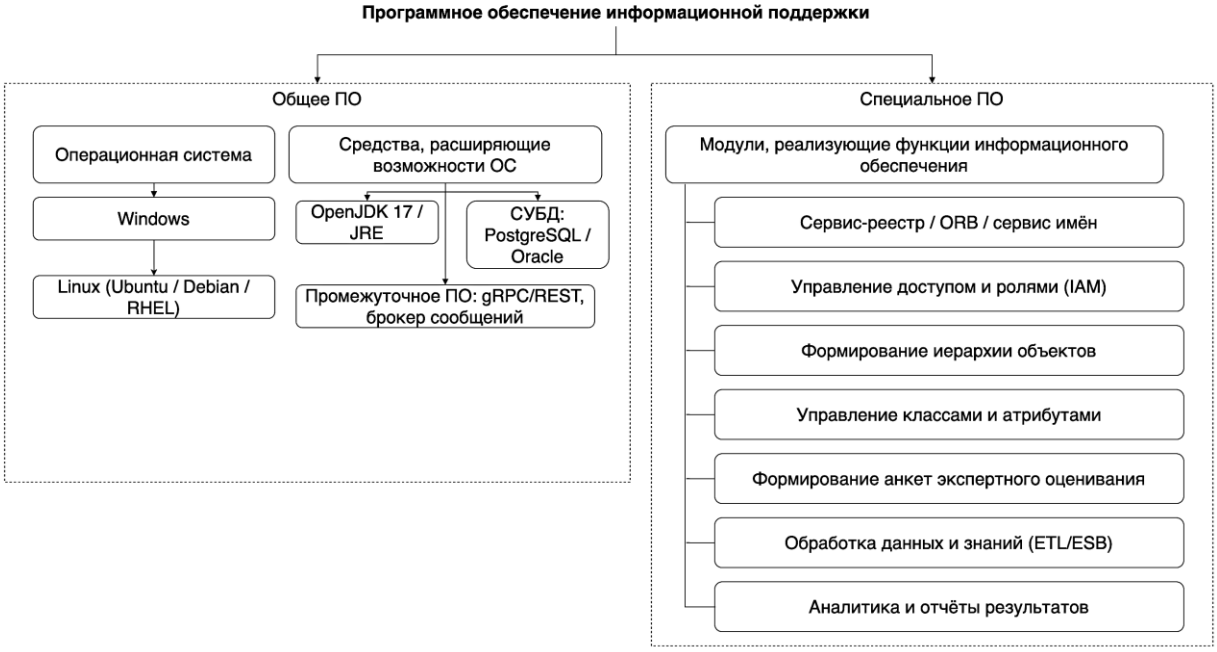


Рис. 7.7 - Структура ПО информационной поддержки ИАСКиУК кондитерской продукции

Данная схема имеет модульную структуру и дает возможность контролировать, прогнозировать и управлять качеством производства разнообразной кондитерской продукции на всех этапах ее производства за счет расчета модулями оптимальных маршрутов производственной сети, структурной и параметрической идентификация всех процессов производства каждого вида кондитерской продукции и оптимизации моделей качества сырья, полуфабрикатов и готовых кондитерских изделий.

7.4. Программирование логического контроллера для создания ИАСКиУК кондитерской продукции (на примере подсолнечной халвы)

Было проведено программирование ПЛК с помощью высокоэффективного программного обеспечения CODESYS. На рисунке 7.8 представлен пример разработанной модели ТП производства подсолнечной халвы в программе CODESYS V2.3. Программа реализована на графическом языке CFC и предусматривает непрерывный цикл производства кондитерской продукции. На рисунке 7.9 представлен код про-граммы на языке CFC.

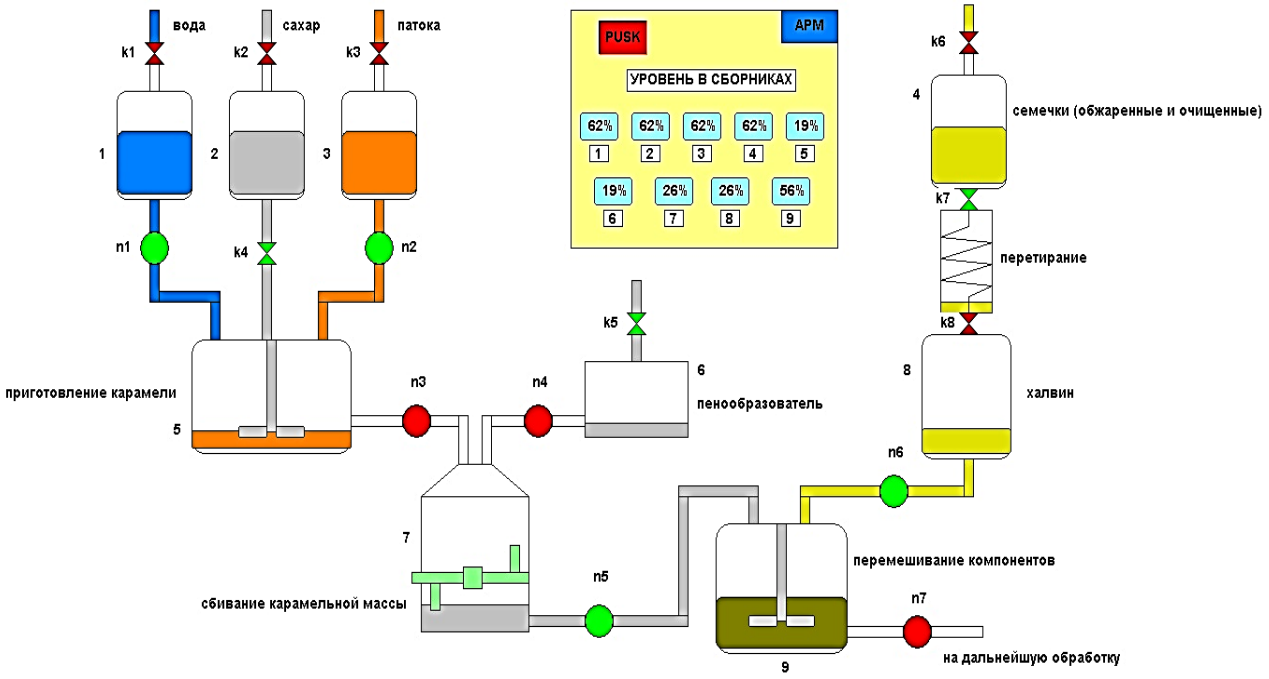


Рис. 7.8 - Модель процесса производства халвы в программе CODESYS

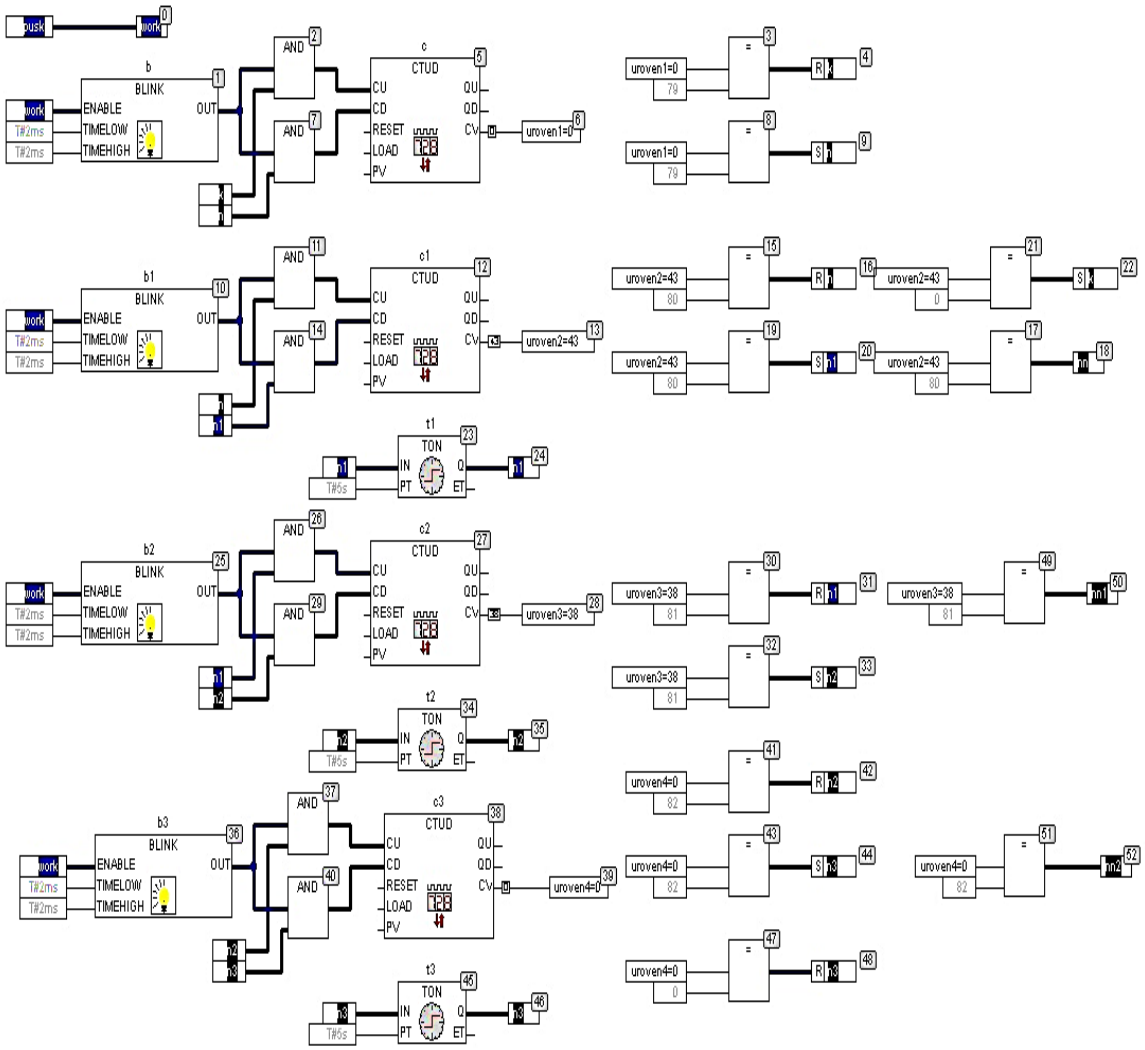


Рис. 7.9 - Код программы на языке CFC

Подробное описание работы схемы приведено в нашей работе [25]. Программа реализована на графическом языке CFC и предусматривает непрерывный цикл производства халвичной массы.

Полученная модель процесса производства халвы с помощью цифровых средств и программирование логического контроллера для создания ИАСКиУК подсолнечной халвы позволили создать виртуальную схему реального процесса производства подсолнечной халвы с возможностью прогнозирования качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий.

Были проведены экспериментальные исследования, направленные на совершенствование исследуемых процессов производства кондитерских изделий, и его виртуальное тестирование. Полученные результаты позволили оптимизировать все этапы производства кондитерской продукции, а также полностью контролировать работу технологического оборудования. Более подробно данные исследования описаны в наших статьях [24 - 26, 31, 53].

7.5. Основные этапы методики принятия решений о качестве готовых изделий в процессе производства кондитерской продукции

Основными этапами методики принятия решений о качестве готовых кондитерских изделий являются:

I этап. Постановка задачи.

На начальном этапе необходимо четко *сформулировать задачу и сформировать требования* к разрабатываемой ИАСКиУК кондитерской продукции.

2 этап. Приобретение знаний.

Далее эти требования уточняются и конкретизируются на этапе приобретения знаний. На этом этане определяется коллектив экспертов предметной области, их взаимодействие с инженером но знаниям. Производится сбор нормативных документов в исследуемой области: актов, приказов, инструкций, лабораторных журналов с целью выявления знаний для дальнейшего этапа анализа и моделирования.

3 этап. Анализ и моделирование предметной области.

На этапе анализа и моделирования предметной области (ПрО) сначала разрабатывается комплекс моделей ПрО для ИАСКиУК кондитерской продукции. Этот комплекс моделей необходим для уточнения процессов, связанных с производством различных видов кондитерской продукции. Далее с учетом уже разработанного комплекса моделей на основании требований, выдвигаемых к системе, в соответствии с предлагаемой методикой разрабатывается концептуальная модель качества производимой продукции. Для выявления закономерностей взаимовлияния органолептических показателей па качество готового продукта используется интеллектуальный анализ данных.

4 этап. Формализация ИАСКиУК кондитерской продукции.

Этап формализации ИАСКиУК кондитерской продукции происходит па основе результатов анализа н моделирования предметной области (ПрО). Производится формирование структуры предметной области, разрабатываются правила и аксиомы, а также алгоритм поиска оптимальных решений на основе онтологии и описывается процедура логического вывода с использованием визуальных средств Protege.

5 этап. Реализация ИАСКиУК кондитерской продукции.

Реализация ИАСКиУК кондитерской продукции включает в себя разработку методов принятия решений о качестве готовых изделий в процессе производства кондитерской продукции с использованием онтологии, а также механизмов поиска наилучших существующих методов. Кроме этого, разрабатывается интерфейс системы. Реализация БЗ происходит на языках OWL-DL и SWRL в среде Protege. Для логического вывода и поиска прецедентов разрабатывается программный продукт, объединяющий механизм рассуждений в предметной области в среде KA0N2 с алгоритмом поиска на основе мер сходства прецедентов. Также разрабатывается интерфейс, позволяющий технологу работать с интеллектуальной автоматизированной системой.

6 этап. Стадия внедрения подразумевает внедрение ИАСКиУК кондитерской продукции на предприятии, производящем эти изделия.

7 этап. Далее производится оценка эффективности внедрения ИАСКиУК кондитерской продукции.

7.6. Подбор технических средств для реализации ИАСКиУК кондитерской продукции

Для практического построения разработанной ИАСКиУК кондитерской продукции был выбран контроллер CP1EE14DRA фирмы Omron - это модульный программируемый контроллер, предназначенный для построения систем автоматизации низкой и средней степени сложности. Модульная конструкция, работа с естественным охлаждением, возможность применения структур локального и распределенного ввода-вывода, широкие коммуникационные возможности, множество функций, поддерживаемых на уровне операционной системы, удобство эксплуатации и обслуживания обеспечивают возможность получения рентабельных решений для построения систем автоматического управления в различных областях промышленного производства. Также возможен вариант использования любого другого ПЛК, аналогичного по характеристикам, мощности и надежности.

Для ввода данных в ручном режиме необходимо выбрать интерфейс ввода данных и определиться с автоматизированным рабочим местом (АРМ) оператора, который должен осуществлять контроль значений технологических параметров при производстве кондитерской продукции, вести архив этих параметров и протоколы нарушении работы оборудования с указанием причины. При возникновении критичных отклонений параметров от нормы, необходимо их устранить.

В качестве интерфейса можно использовать отраслевой стандарт – SCADA (Supervisory control and data acquisition) систему SIMATIC WinCC – Windows - работающую под управлением операционной системы (ОС) семейства Windows и с системой управления базами данных (СУБД) Microsoft SQLServer– в случае, если объемы данных небольшие и не предъявляется жестких требований к отказоустойчивости системы. В противном случае выбор может быть сделан в

пользу ОС семейства Unix и промышленных СУБД компаний Oracle или Teradata. В простейшем варианте, ввод данных может быть реализован через Microsoft Excel (в формат csv), с последующим импортом данных в базы данных (БД) с использованием специализированных инструментов (например, утилит Multiload и Fastload в случае Teradata).

SCADA – система должна выполнять следующие функции:

- сбор, обработка, накопление информации о технологических параметрах, ее архивирование и отображение в режиме реального времени на экранах ПЛК;
- выявление аварийных ситуаций, вывод на экраны ПЛК аварийных сообщений;
- оперативное управление технологическим процессом производства.

В качестве АРМ оператора необходимо использовать промышленные персональные компьютеры, отличающиеся повышенными показателями защиты от вредных воздействий окружающей среды – пыли, влаги и температуры. В этом компоненте выбор также может быть сделан в пользу продукции фирмы Siemens – SIMATIC Panel PC. В качестве альтернативы, можно рассмотреть продукцию компании IEI Technology, в линейке моделей которой присутствуют рабочие станции с сенсорным экраном. Все АРМ подключены к единой технологической платформе, которая работает на базе сервера.

Для задач хранения данных и реализации расчетов необходим выделенный сервер. Это может быть как обычный персональный сервер, оснащенный мощным процессором (например, IntelCorei7), с большим размером оперативной памяти (для нормального функционирования нейросетевых пакетов необходимо как минимум 2 Гб. оперативной памяти) и обширным дисковым массивом для хранения данных, так и распределенный многопроцессорный сервер (например, компании Hewlett-Packard). Выбор зависит от объемов данных, которые предстоит обрабатывать.

Для хранения данных из реляционных СУБД для нашей задачи был выбран наиболее распространенный вариант bdForge Studio for MySQL.

Для реализации нейросетевых моделей удобнее всего использовать программное обеспечение Matlab, которое обладает всеми необходимыми качествами, поддерживает большое количество вариантов архитектур нейронных сетей, алгоритмов обучения и активационных функций, имеет подробную справочную информацию и графические интерфейсы.

Взаимодействие между базами данных и MatLab можно реализовать через программный интерфейс Open Database Connectivity (ODBC). Через этот интерфейс MatLab может получать данные из БД (bdForge Studio for MySQL, а также файлы с данными).

Для отображения инженерам и руководству предприятия информации о прогнозе качества производимой продукции могут применяться как средства SIMATIC Win CC, так и отчеты с использованием средств бизнес- анализа Business Intelligence (BI): SAP Business Objects или Oracle Business Intelligence.

Для отображения отчетов достаточно установить один экземпляр BI системы на сервер. На персональных компьютерах инженеров и руководителей данные будут доступны по механизму «тонкого клиента» (например, в браузере Internet Explorer). Также для руководства возможна настройка приложений дополнительного информирования о критичных отклонениях в процессе производства через электронную почту или посредством передачи текстовых сообщений на мобильный телефон (sms), реализованных на мобильных платформах (iOs, Android) для оперативного отслеживания состояния производства кондитерских изделий.

Резюмируя вышеизложенное, подчеркнем, что ИАСКиУК кондитерской продукции на основе нейросетевых моделей может быть как экономичной и не требующей больших ресурсов, так и дорогостоящей, но очень надежной, способной хранить и быстро обрабатывать огромный объем информации, обладающей широким спектром дополнительных функций (визуальные

представления отчетов, мобильные приложения). Все зависит от размеров предприятия и требований к реализации ИАСКиУК кондитерской продукции.

Автоматизированное рабочее место регламентирует ГОСТ 34.003—90.

Средства конвертирования протоколов.

Наиболее широко применяемым средством обмена данными между программным обеспечением различных производителей является открытый протокол OPC. В качестве конвертера протоколов было выбрано специализированное программное обеспечение, позволяющее без потери производительности преобразовывать информацию, полученную при помощи прямых SQL запросов к базе данных в данные формата OPC.

Средства нейросетевого моделирования.

В качестве средства нейросетевого моделирования (НСМ) был выбран пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений, а также интерактивная среда разработки алгоритмов и современный инструмент анализа данных Matlab. В состав пакета входит инструмент для синтеза, обучения и анализа НС Neural Network Toolbox. При помощи этого инструмента реализуется интеллектуальный модуль программно- аппаратного комплекса (ПАК), позволяющий осуществить проектирование и функционирование НСМ типа многослойный персептрон, являющейся ключевым элементом для автоматического контроля органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых кондитерских изделий.

Средства отображения информации.

Для представления рассчитанной информации в удобном и понятном виде используется средства человеко-машинного интерфейса в виде SCADA-системы.

Устройства управления.

Устройствами, осуществляющими выдачу управляющих воздействий на ИМ технологической линии производства определенного вида кондитерских изделий, являются модули вывода ПЛК. Информационный сигнал, поступающий

от интеллектуального модуля АК органолептических показателей, обрабатывается программой нейроконтроллера, после чего выдается управляющее воздействие на конкретный ИМ и тем самым происходит корректировка ТП в соответствии с рассчитанными данными. Универсальность разработанной структуры и подобранные под нее технические средства автоматизации позволяют использовать разработанную ИАСКиУК для автоматического контроля и управления качеством самых различных кондитерских изделий.

7.7. Исследование и модернизация ФСА поточных линий производства кондитерской продукции

Исходя из полученных результатов, контроль всех важнейших параметров, характеризующих ТП производства кондитерской продукции, а также контроль органолептических показателей качества продукции были заложены в разработанные ФСА соответствующих процессов производства.

7.7.1 ФСА основных ТП производства подсолнечной халвы

ФСА процесса сепарирования семян подсолнечника (рисунок 7.10)

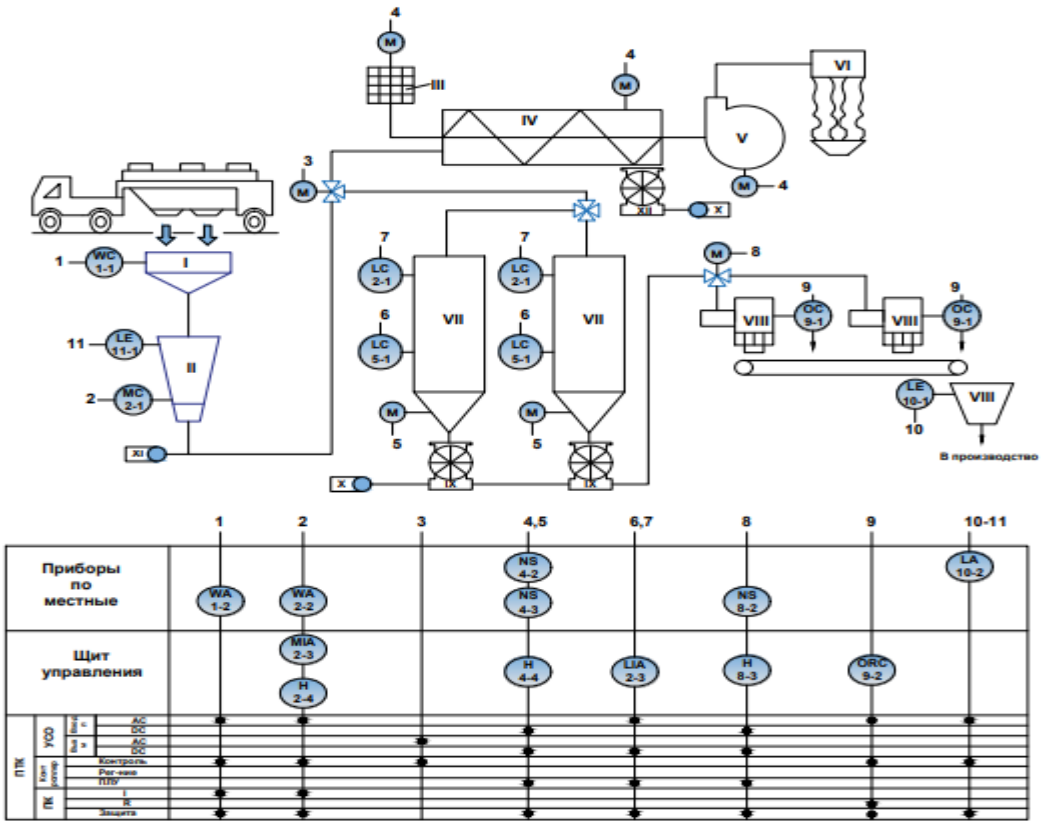


Рис. 7.10 - ФСА процесса сепарирования семян подсолнечника

Разработанная схема автоматизации обеспечивает**:**

- измерение, контроль и регистрацию технологических параметров процесса;
- обнаружение, предаварийную сигнализацию, регистрацию отклонений контролируемых параметров от установленных границ;
- реализацию заданного алгоритма управления;
- реализацию алгоритмов противоаварийной защиты;
- сигнализацию нарушений состояния технологического оборудования;
- анализ срабатывания блокировок и защит;
- самодиагностику ТС и самодиагностику контроллера до уровня модуля с выдачей сигнализации об отказе без останова линии производства халвы;
- связь с вышестоящими системами.

В представленную схему были включены интеллектуальные датчики АК органолептических показателей качества процесса сепарирования семян подсолнечника: коэффициента извлечения примесей в процессе сепарирования и внешнего вида семян подсолнечника. Подробное описание данной схемы приведено в наших работах [24, 25, 29].

ФСА процесса приготовления сахарного сиропа для производства халвы

На рисунке 7.11 представлена ФСА процесса приготовления сахарного сиропа для производства халвы. Сахарный песок поступает в бункер шнекового дозатора (I) , после которого подается в смеситель (V). Объем подачи регулируется при помощи расходомера (1-1). В этот же смеситель двухплунжерные насосы (VII) непрерывно дозируют при помощи расходомеров (6-1), (7-1), (8-1), путем различной степени открытости клапанов (2), (3), (4), необходимое количество разогретой до 60°С патоки(III), замер температуры которой производится датчиком (4-1), инвертного сиропа(II) и нагретой до 70°С воды(IV), замер температуры которой производится при помощи датчика(5-1). В смесителе(V) при перемешивании и подогревании происходит частичное растворение сахарного песка, в результате чего смесь превращается в кашицу. Продолжительность перемешивания 2,5-3 минуты. Сахаро-паточный раствор

температурой 60-65°С плунжерным насосом(VIII) непрерывно подается внутрь змеевика варочной колонки(VI). Температура внутри колонки регулируется датчиком температуры(11-1) путем подачи пара в рубашку через клапан(6), где контроль над давлением производит датчик давления (10-1). После нагрева высококонцентрированной сахаро-паточной смеси до температуры 120-125°С, обеспечивающей полное растворение кристаллов сахарозы в течение 1-1,5 мин, срабатывает клапан (7) и полученный продукт переходит на следующую стадию обработки. Подробное описание работы функциональной схемы автоматизации данного этапа производства халвы приведено в наших раотах [24, 25, 34]. В схему автоматизации были заложены интеллектуальные датчики контроля вкуса сахарного сиропа и его цвета.

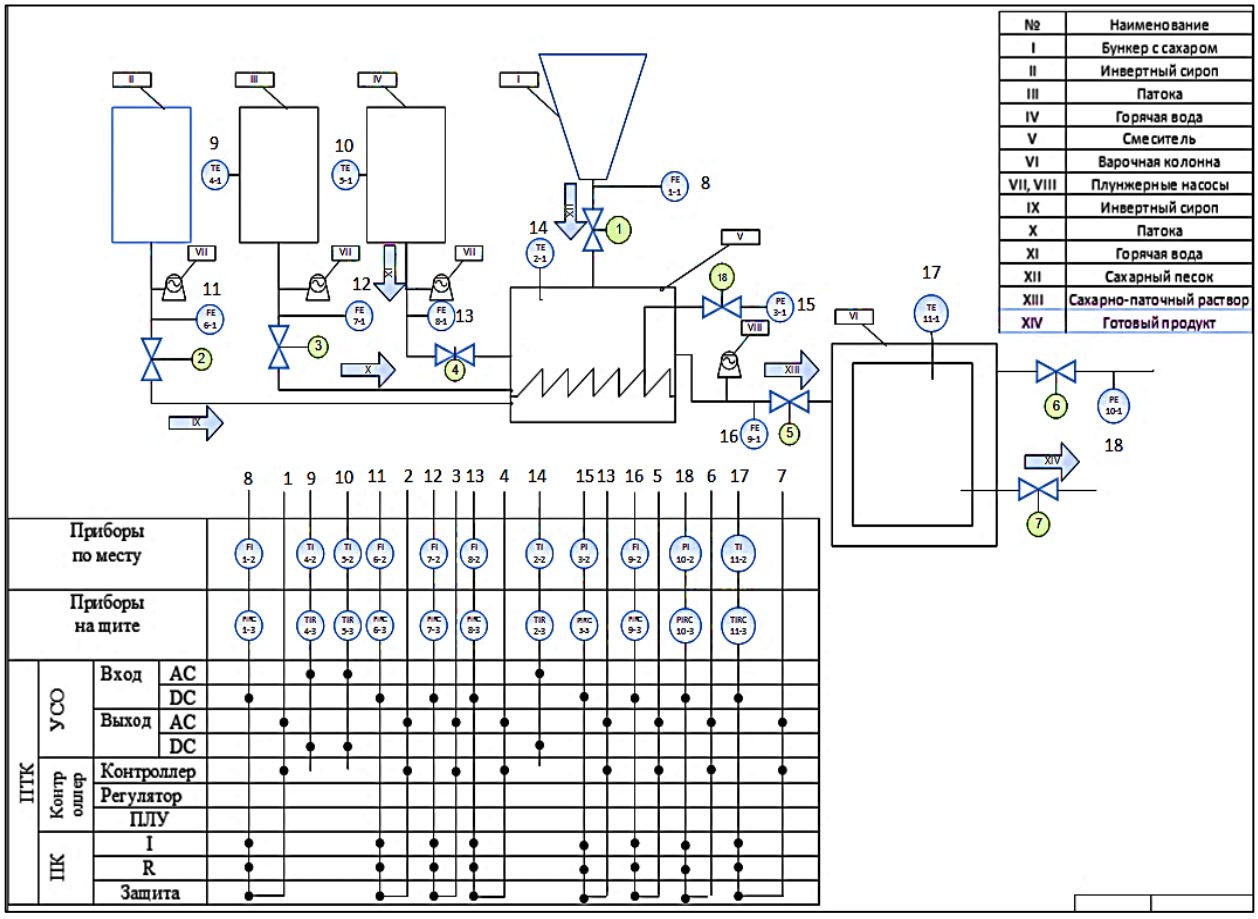


Рис. 7.11 - ФСА процесса приготовления сахарного сиропа

Подробное описание работы функциональной схемы автоматизации (ФСА) всех этапов производства халвы приведено в наших работах [25, 28, 41].

В данной схеме представлены интеллектуальные датчики контроля качества карамельного сиропа.

На рисунке 7.12 представлена ФСА процесса взбивания карамельных масс для производства халвы. Подробное описание данного этапа производства халвы приведено в наших работах [24, 25]. В разработанной схеме представлены интеллектуальные датчики контроля органолептических показателей качества карамельных масс после взбивания (вкус и цвет этих масс).

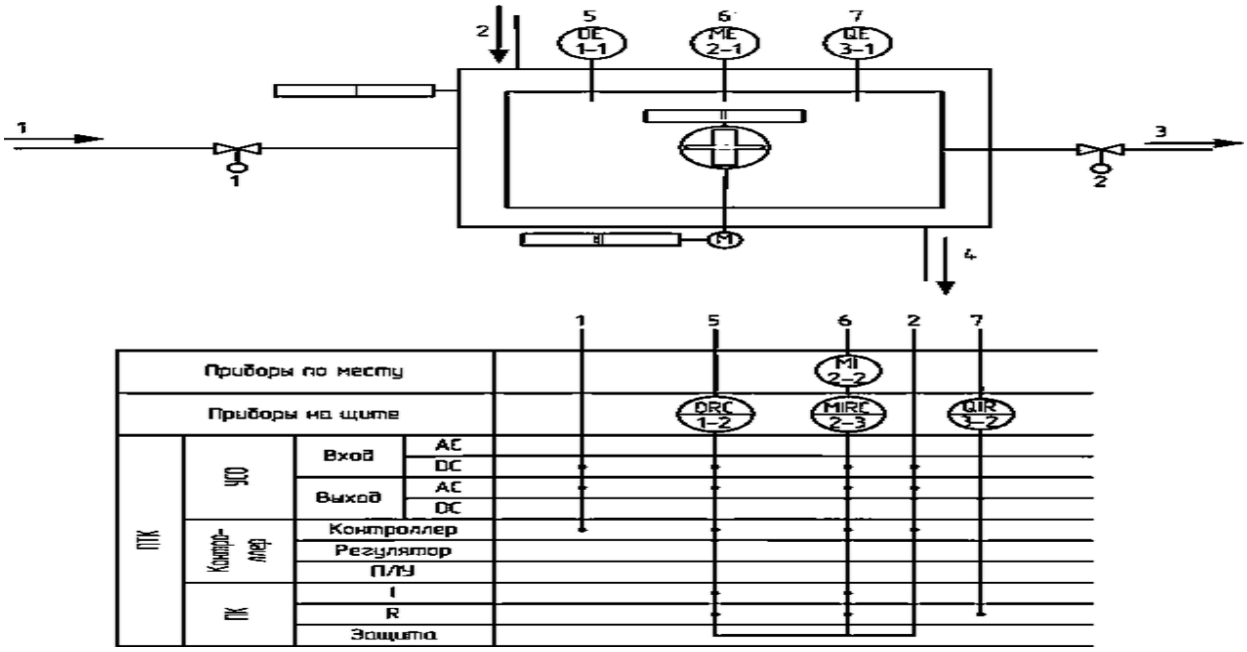


Рисунок 7.12 - ФСА процесса взбивания карамельных масс

Для получения заданного качества карамельных масс системой цифровых видеокамер (ЦВК) контролируется цвет получаемой массы (5) и с использованием ИНС в потоке определяется величина вкуса карамельной массы. Влажность фиксируется датчиком (6), концентрация сухих веществ ≤1% и регистрируется датчиком 7. После достижения нужных показателей качества карамельная масса выходит самотеком при открытии клапана (2) и поступает на следующую стадию производства халвы – процесс вымешивания халвы.

ФСА процесса вымешивания массы халвы

Все выявленные важнейшие параметры, характеризующие процесс вымешивания массы халвы, в том числе датчики контроля качества, характеризующие

вкус и цвет массы халвы, были заложены в разработанную ФСА процесса вымешивания халвы, представленную на рисунке 7.13.

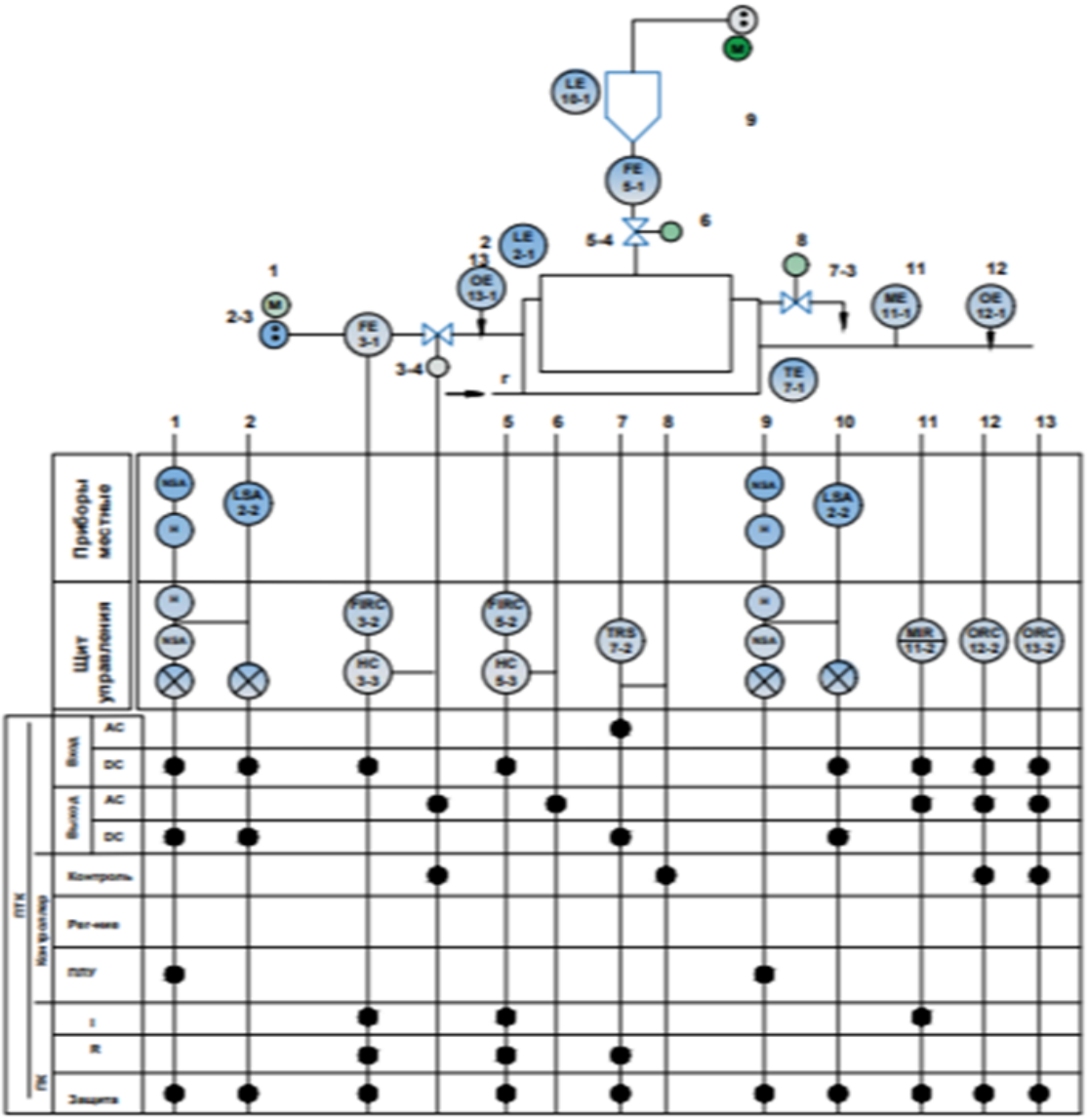


Рис. 7.13 - ФСА процесса вымешивания массы халвы

ЦВК 12-1 установлена для наблюдения за цветом массы халвы после вымешивания и передаёт результаты на регистрирующие устройство 12-2. Величина цвета и консистенции массы халвы регистрируется устройством 13-2.

ФСА процесса формования корпусов конфет халвы

На рисунке 7.14 представлена ФСА процесса формования халвы.

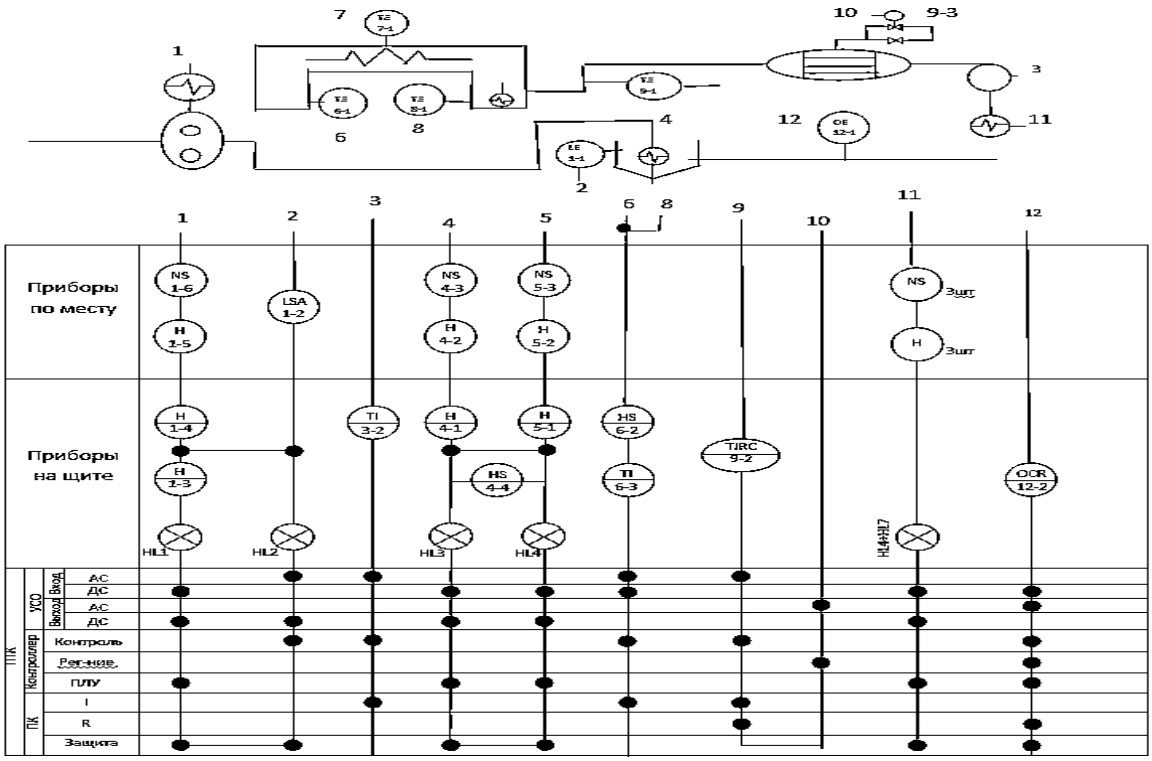


Рисунок 7.14 - ФСА процесса формования корпусов конфет халвы

В схему автоматизации были заложены все выявленные важнейшие параметры, характеризующие процесс формования халвы, в том числе датчики контроля качества корпусов конфет. С помощью цифровой видеокамеры 12-1 определяется цвет корпусов конфет. Данные с камеры передаются на регистрирующие устройство 12-2. Подробное описание данного этапа производства халвы приведено в наших работах [24, 25].

7.7.2. ФСА основных ТП производства помадных глазированных конфет

ФСА процесса приготовления помадных конфетных масс

Все выявленные важнейшие параметры, характеризующие процесс приготовления помадных конфетных масс, в том числе датчики контроля качества, характеризующие вкус и цвет конфетных масс были заложены в разработанную ФСА процесса приготовления помадных конфетных масс, представленную на рисунке 7.15.

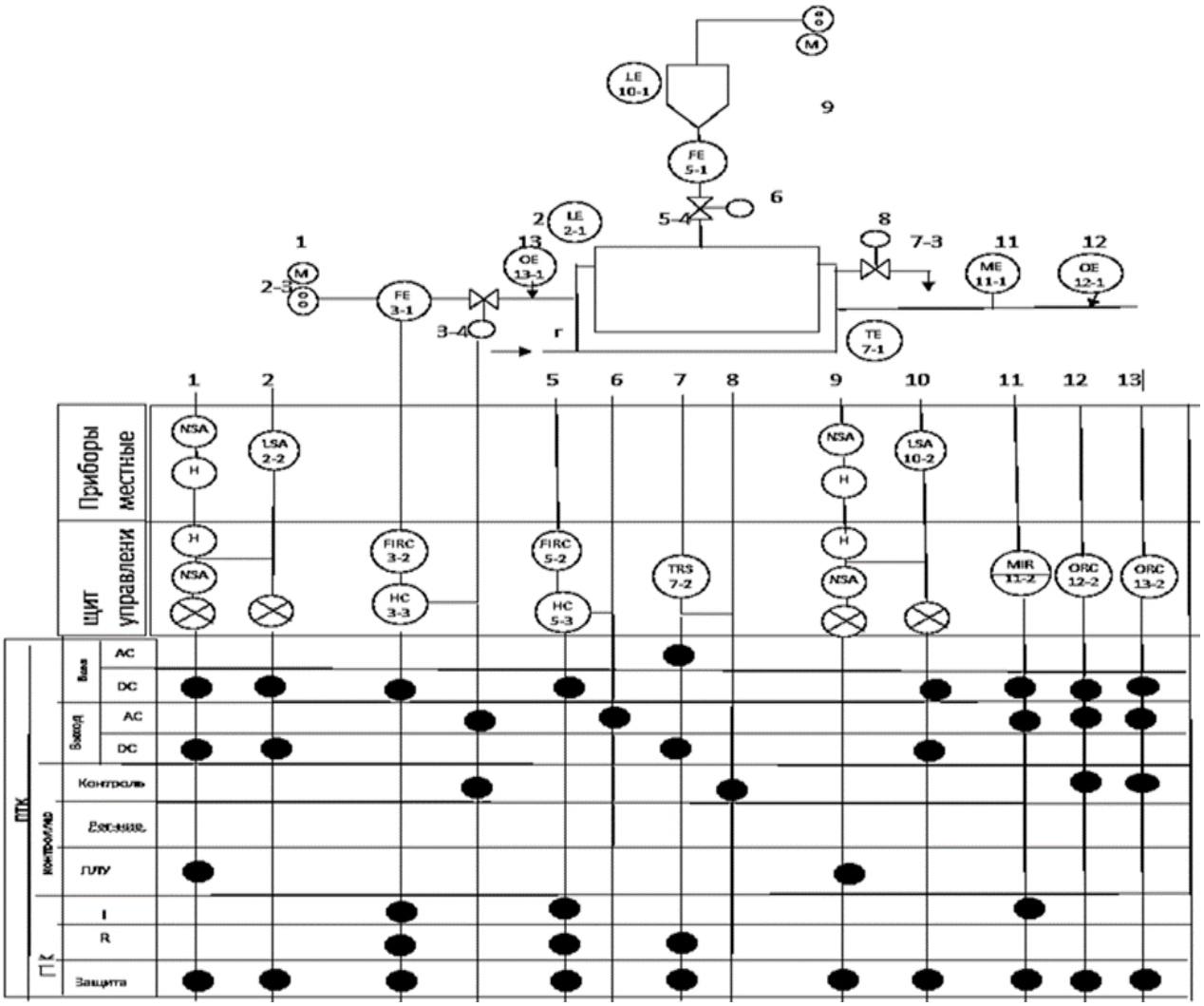


Рис. 7.15 - ФСА процесса приготовления помадных конфетных масс

Цифровая вдеокамера12-1 установлена для наблюдения за цветом помадных масс и передаёт результаты на регистрирующие устройство 12-2. Величина вкуса в конфетных массах регистрируется устройством 13-2.

ФСА процесса формования корпусов помадных конфет

Все выявленные важнейшие параметры, характеризующие процесс формования, в том числе датчики контроля качества корпусов помадных конфет после формования были заложены в разработанную ФСА процесса формования корпусов помадных конфет, представленную на рисунке 7.16.

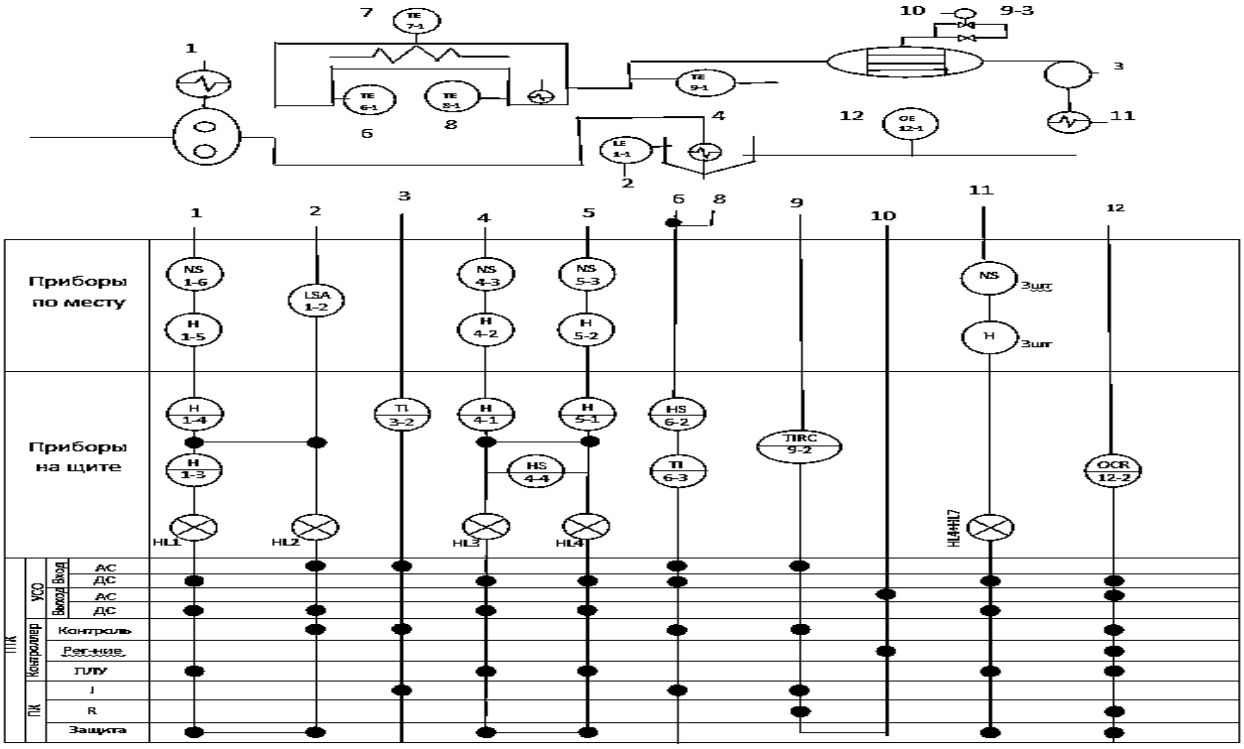
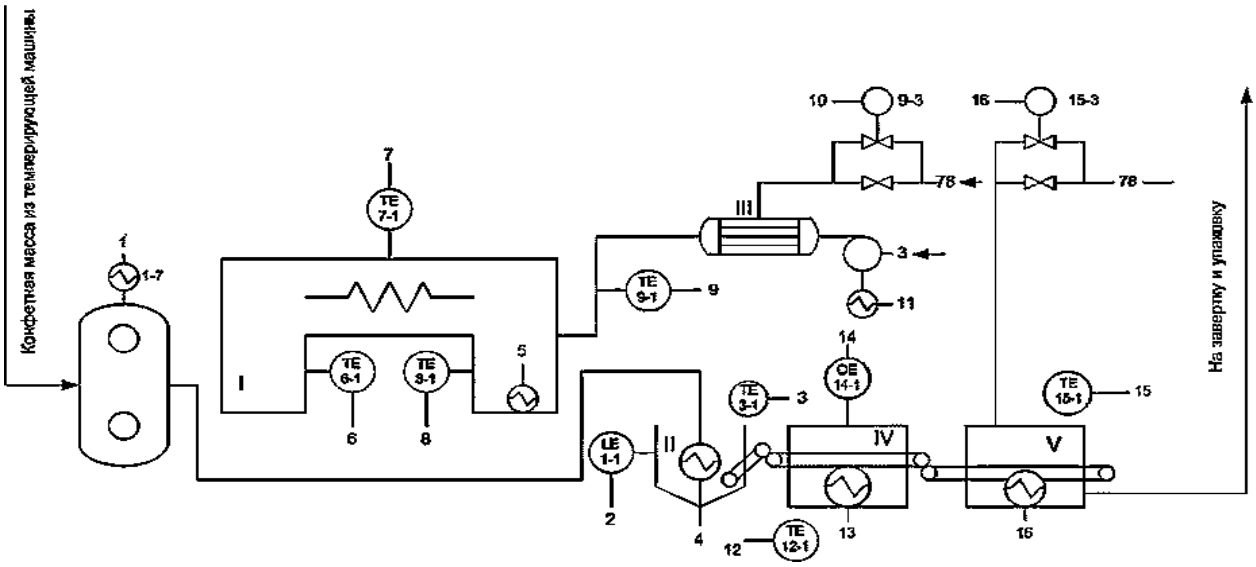


Рис. 7.16 - ФСА процесса формования корпусов помадных конфет

С помощью цифровой видеокамеры 12-1 определяется цвет корпусов конфет. Данные с камеры передаются на регистрирующие устройство 12-2.

ФСА процесса глазирования корпусов помадных конфет

Все выявленные важнейшие параметры, характеризующие процесс глазирования, в том числе датчики контроля качества глазированных конфет были заложены в разработанную ФСА процесса глазирования корпусов помадных конфет, представленную на рисунке 7.17.



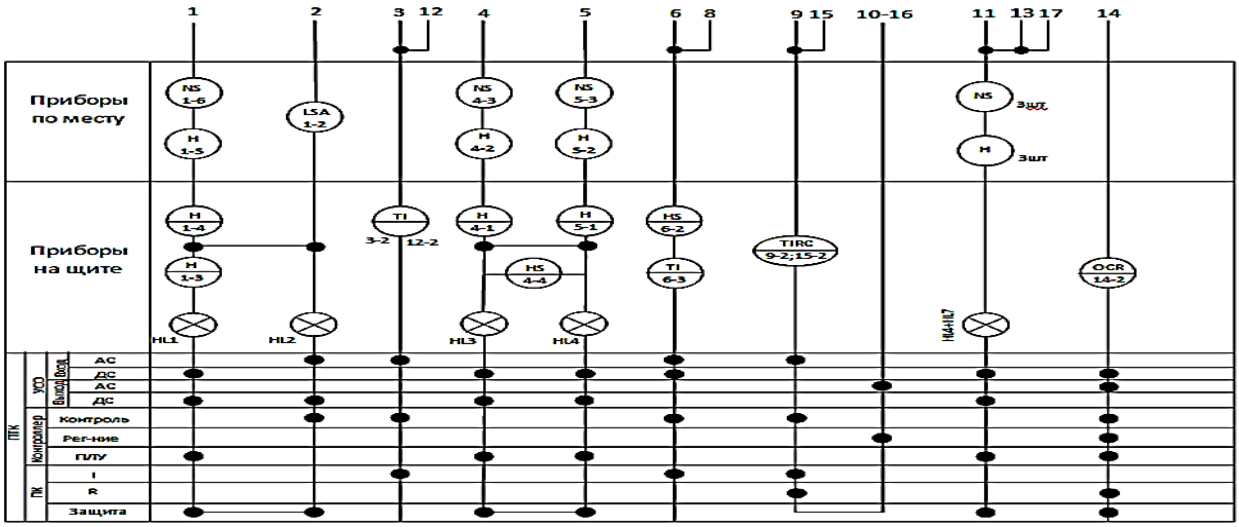
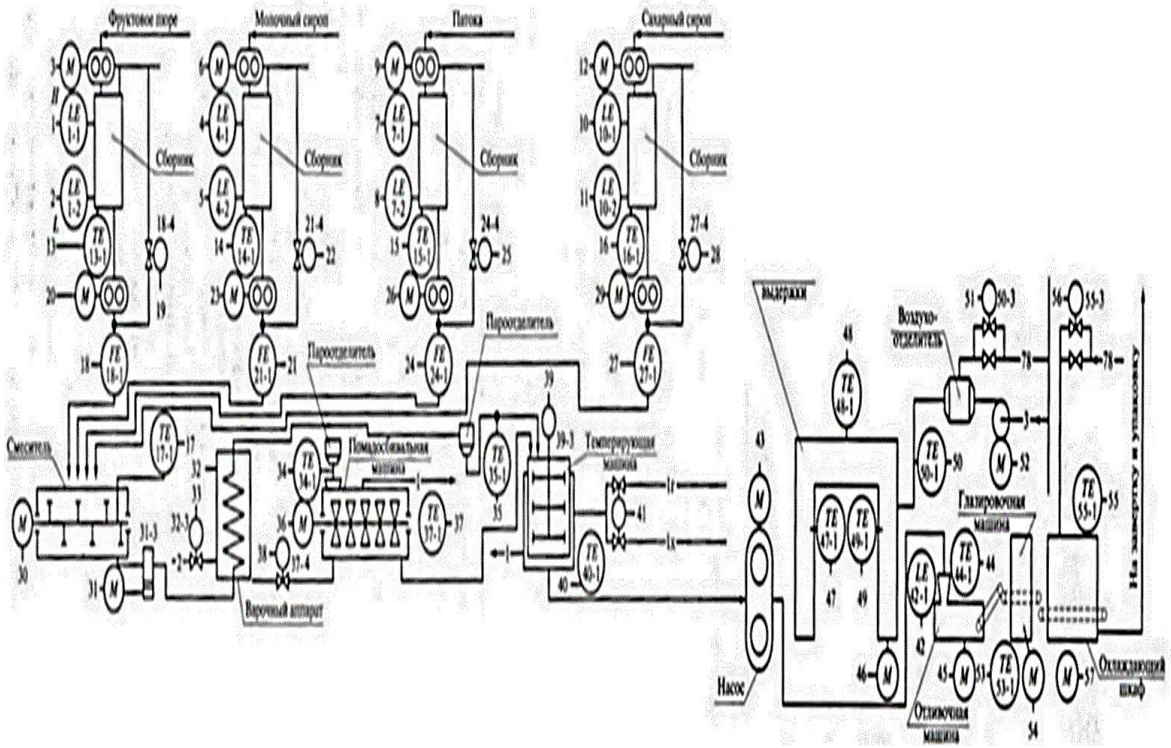


Рис. 7.17 - ФСА процесса глазирования корпусов помадных конфет

ФСА линии производства и упаковки помадных конфет

Общая разработанная ФСА линии производства и упаковки помадных конфет, объединяющая все представленные ранее ТП, показана на рисунке 7.18. В данной схеме показаны новые решения по автоматизации контроля в режиме реального времени органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий с использованием ИТ, что повлечёт за собой исключение возможных ошибок, минимизацию брака, расходов и трудозатрат, а также повышение качества производимой продукции.



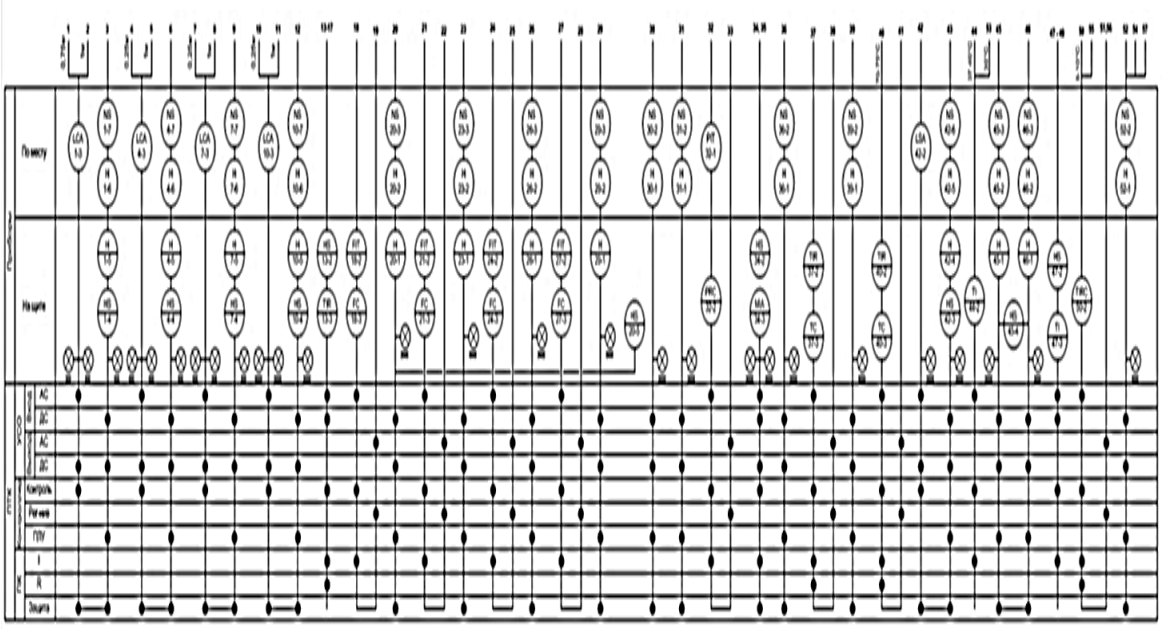
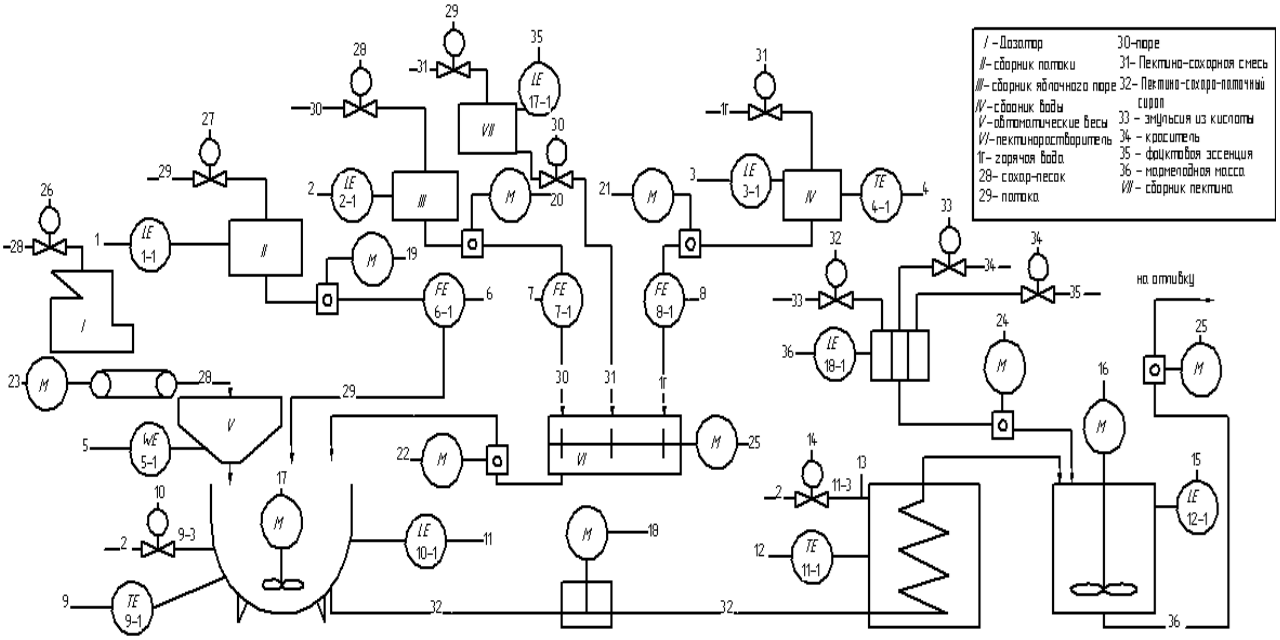


Рис. 7.18 - ФСА линии производства и упаковки помадных конфет

Подробное описание этой схемы автоматизации приведены в наших работах [24, 25, 38, 41].

7.7.3. ФСА производства мармелада

Разработанная ФСА производства мармелада представлена на рисунке 7.19.



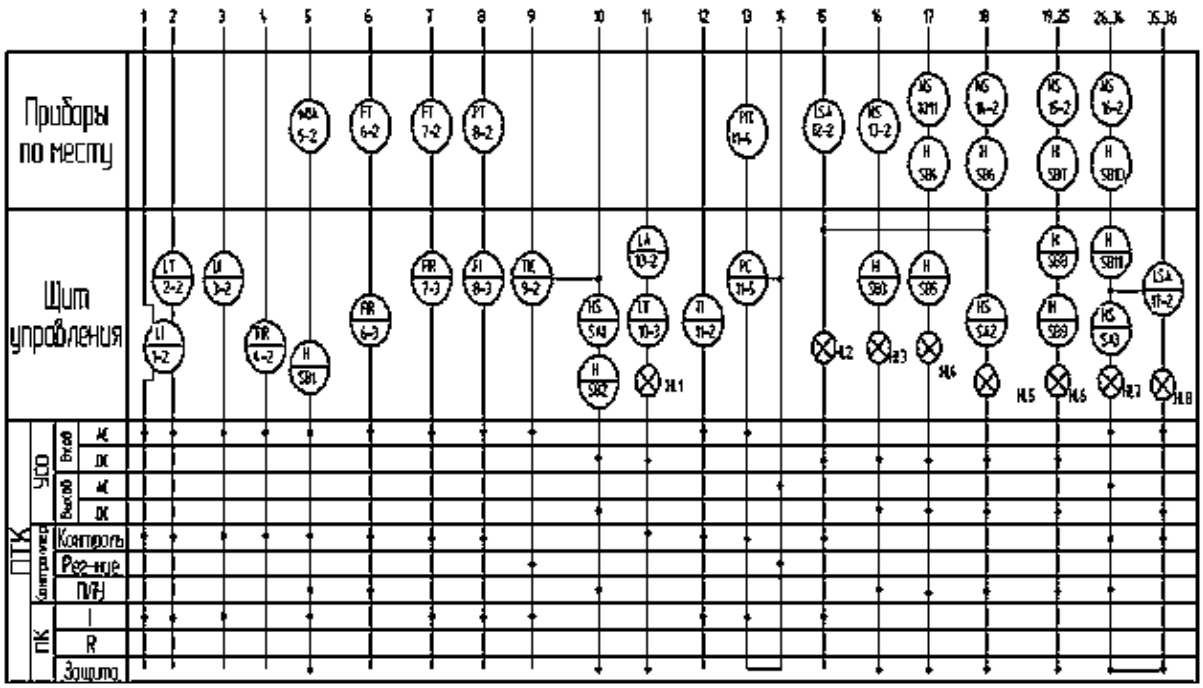
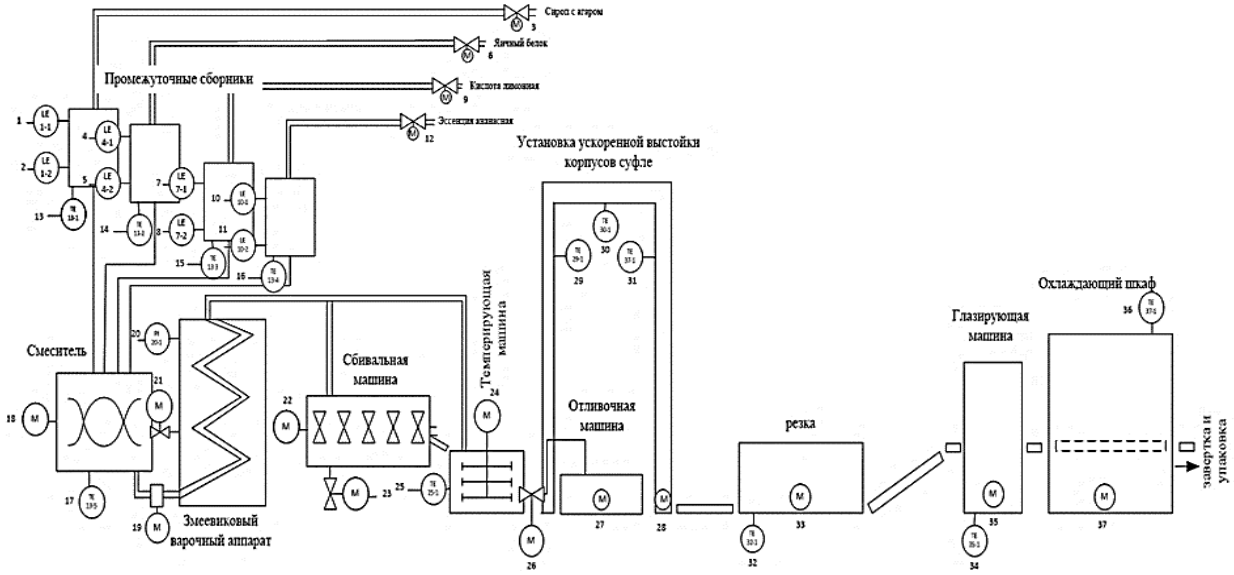


Рис. 7.19 - производства мармелада

Для автоматизации линии приготовления мармелада предусмотрен программно- технический комплекс (ПТК). Подробное описание этой схемы автоматизации приведены в наших работах [24, 25, 45, 49].

7.7.4. ФСА ТП производства глазированного суфле

Разработанная ФСА производства глазированного суфле, с включением интеллектуальных датчиков контроля органолептических показателей качества, показана на рисунке 7.20.



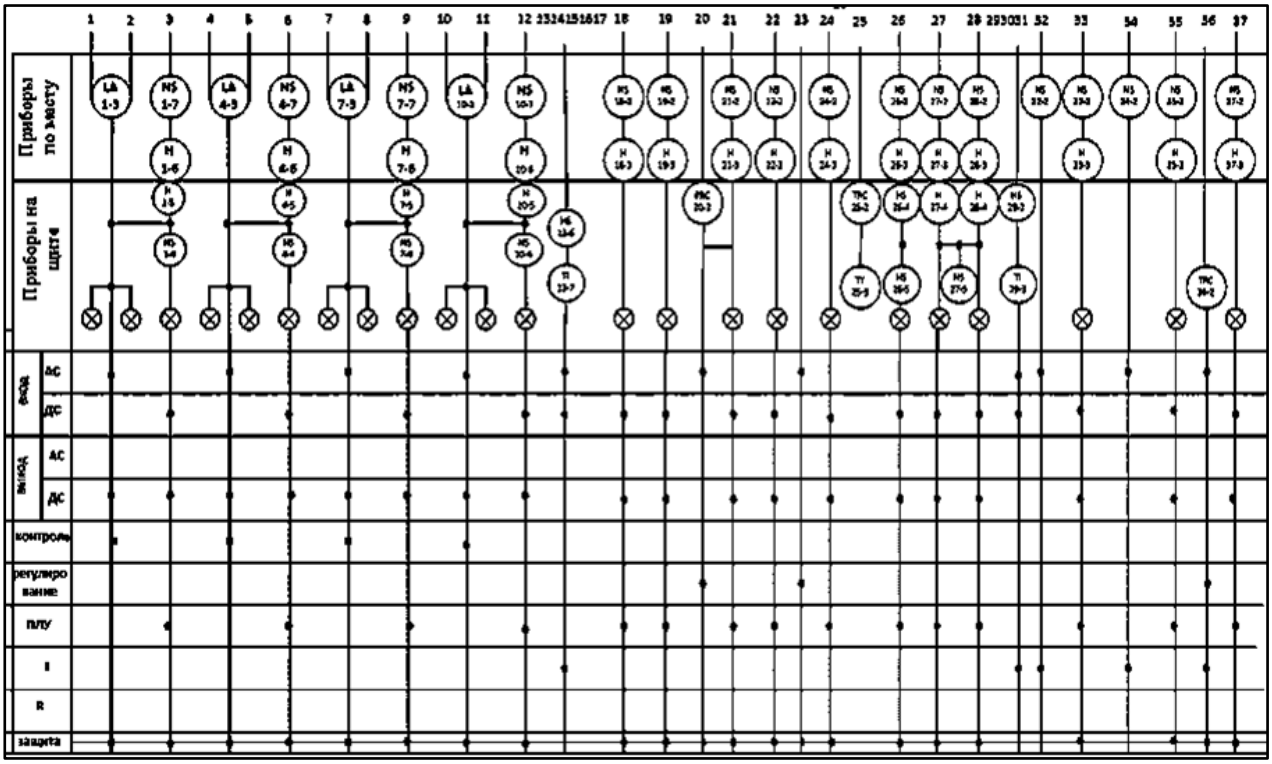


Рис. 7.20 - ФСА ТП производства глазированного суфле.

Температура исходной смеси в промежуточных емкостях контролируется с помощью датчика температуры ДТ-303-РТ, сигнал с которого поступает на двухканальный измеритель температуры 2ТРМО.

Автоматическое дозирование компонентов смеси обеспечивается путем стабилизации расходов компонентов из промежуточных емкостей в смеситель. Продукты из емкостей через трубопроводы, в которых установлены электромагнитные расходомеры FLONET FS10XX, поступают в смеситель. Сигнал расходомера подается на одноканальный измеритель-регулятор с унифицированным входом ТРМ 200, который посредством магнитного пускателя включает насос на линии подачи продуктов в смеситель.

В сбивальной машине осуществляется стабилизация температуры. Регулирование температуры осуществляется при помощи термометра сопротивления ТСхУ-0104. Температура массы в приемной воронке конфетоотливочной машины, температура в глазировочной машине и температура в темперирующем сборнике контролируются с помощью датчика температуры ДТ-303-РТ, сигнал с которого поступает на двухканальный измеритель температуры 2ТРМО.

Автоматическое регулирование температуры воздуха в охлаждающем шкафу осуществляется термометром сопротивления ТСхУ-0104, сигнал с которого поступает на двухканальный измеритель-регулятор ТРМ 200, управляющим электромагнитным клапаном на линии подачи рассола в шкаф.

ФСА обеспечивает также пуск и останов электродвигателей машин и аппаратов. Для перехода с автоматического управления на ручное установлены ключи выбора режима.

Подробное описание этой схемы автоматизации приведены в наших работах [24 - 27].

7.7.5. ФСА основных ТП производства шоколадных масс

Разработанная ФСА процессов производства шоколадных масс с внесением новым решений по автоматизации контроля органолептических показателей сырья, полуфабрикатов и готовых изделий с использованием интеллектуальных технологий представлена на рисунке 7.21.

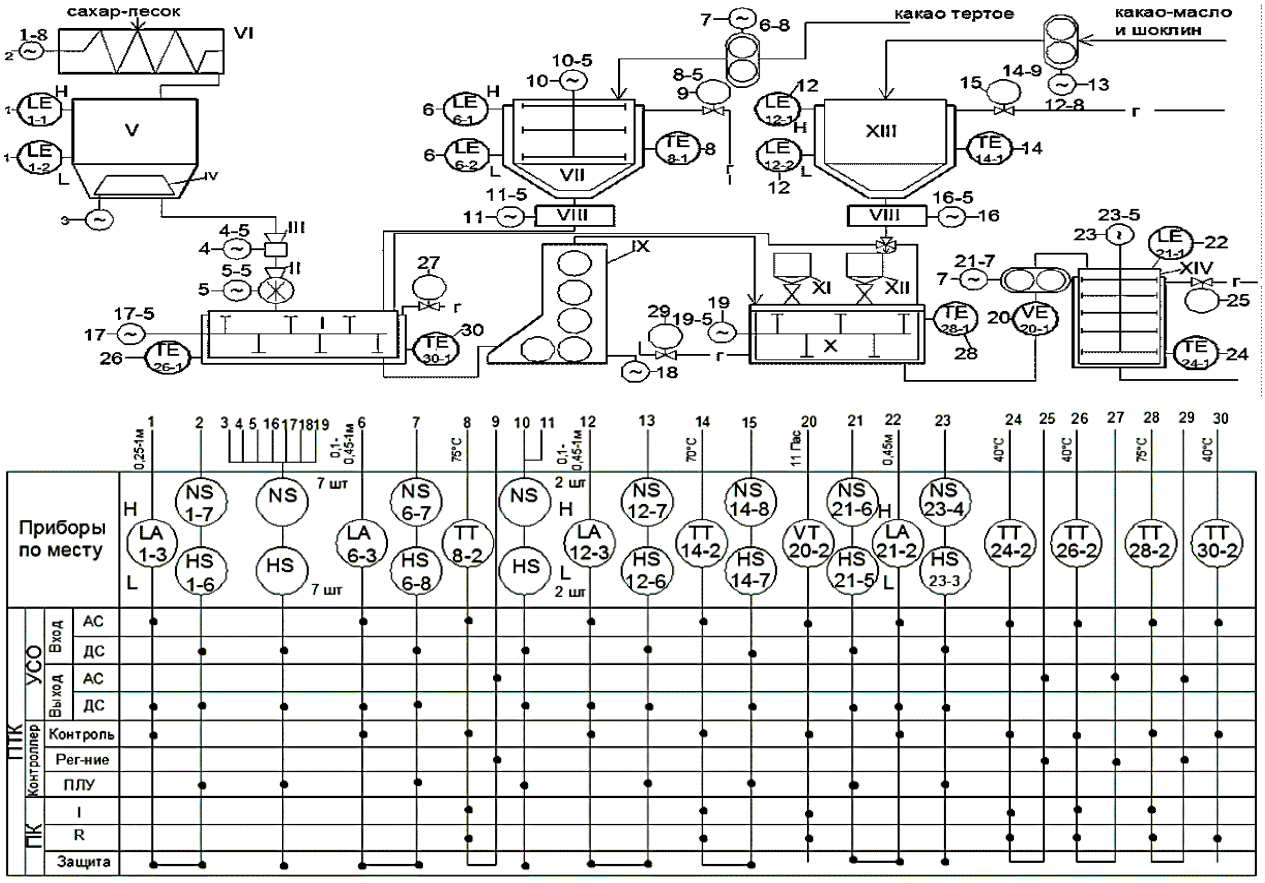


Рис. 7.21 - ФСА производства шоколадных масс

Подробное описание этой схемы автоматизации приведены в наших работах [24 – 27, 36].

Внедрение представленных в данном исследовании разработок повлечёт за собой исключение возможных ошибок, минимизацию брака, расходов и трудозатрат, а также повышение качества производимой продукции.

7.8. Выводы по 7 главе

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.

Разработана обобщенная функциональная структура ИАСКиУК кондитерской продукции. Проработана методология управления качеством в условиях многоэтапного производства этой продукции.

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 в процессе производства рекомендовано использование нейрорегуляторов, выполненных на базе многослойных нейронных сетей. Осуществлен подбор комплекса технических средств для реализации ИАСКиУК кондитерских изделий.

Разработан состав основных элементов БД ИАСКиУК.

Сформирована база знаний ИАСКиУК кондитерских изделий.

Представлена структура динамической ИАСКиУК кондитерской продукции. Показаны основные этапы методики принятия решений о качестве готовых изделий в процессе их производства. Осуществлен подбор комплекса необходимых технических средств.

Исследованы и разработаны ФСА поточных линий производства кондитерской продукции разной структуры: подсолнечной халвы, помадных глазированных конфет, мармелада, глазированного суфле и шоколадных масс. 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 позволит повысить эффективность различных отраслей кондитерского производства.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В работе решены все поставленные задачи.

Основные выводы и результаты заключаются в следующем.

1. Исследованы ТП разнообразной по структуре кондитерской продукции как объекты автоматизации. Установлено, что применяемые в настоящее время методы оценки органолептических показателей качества субъективны и определяются, в основном, экспертами - технологами путем дегустационного анализа. Проведены экспериментальные исследования и построены органолептические профили всех исследуемых кондитерских изделий.

2. Разработана концептуальная структурно- динамическая модель создания интеллектуальной системы автоматического контроля и управления качеством (ИСАКиУК) кондитерской продукции различной структуры.

3. Проанализирована и определена перспективность использования различных интеллектуальных технологий в решении задач создания ИСАКиУК кондитерских изделий.

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

5. Разработаны структурно- параметрические, математические, ситуационные и имитационные модели основных этапов ТП производства кондитерской продукции с различной структурой.

6. На этой основе разработаны методологические основы создания цифровых двойников производства кондитерских изделий, являющихся основой разработки ИСАКиУК, позволяющих прогнозировать ход этих процессов и определять необходимые при этом режимы работы используемого оборудования.

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

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

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

10. Представлены модифицированные ФСА процессов производства кондитерской продукции разной структуры с включением в эти схемы разработанных интеллектуальных средств автоматического контроля органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий.

11. Проведена производственная проверка результатов исследования на промышленном оборудовании линий по производству кондитерской продукции на кондитерских фабриках Холдинга «Объединенные кондитеры». Разработанные методы, способы, алгоритмы и программы прошли апробацию и

внедрены также в НИИ, профильные фирмы и в учебные процессы кафедр “Автоматизированные системы управления биотехнологическими процесса-ми» РОСБИОТЕХ и «Промышленная информатика» Института искусственно-го интеллекта "МИРЭА - Российский технологический университет». Име-ются акты внедрения.

Список работ, опубликованных по материалам диссертации включает 250 публикаций с общим количеством цитирований: 2977. Индекс Хирша – 27.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АКОП - автоматический контроль органолептических показателей
АПК - автоматический преобразователь консистенции
АРМ - автоматизированное рабочее место
АСИ - адаптивная система с идентификатором
АСУТП – автоматизированная система управления технологическим процессом
БД – база данных
БЗ – база знаний
ВКС – величина кристаллов сахара
ГА - генетические алгоритмы
ИАС - интеллектуальным автоматизированным системам
ИАСКиУК – интеллектуальная автоматизированная система контроля и управления качеством
ИИ - искусственный интеллект
ИИС –интеллектуальные информационные системы
ИНС – искусственная нейронная сеть
ИСУ - интеллектуальная система управления
ЛПР – лицо, принимающее решение
МКМ – многокомпонентные кондитерские массы
НСМ – нейросетевая модель
НСР - нейросетевой регулятор
НСТ –нейросетевые технологии
НТД – научно- техническая документация
ОА - объекта автоматизации
ОД - объект диагностирования
ОУ – объект управления
ПАВ - поверхностно- активные вещества
ПАК - программно- аппаратный комплекс
ПО – программное обеспечение
ППП – пакет прикладных программ
САК - системы автоматического контроля
САУ – системы автоматического управления
СКЗ – системы компьютерного зрения
СНС - свёрточная нейронная сеть
СОЗ – система, основанная на знаниях
СПММ – структурно-параметрические и математические модели
СУБД - система управления базами данных
ФСА – функциональная схема автоматизации
ФСС – функционально- структурная схема
ЦВК - цифровая видеокамера
ЦД - цифровые двойники
ЧЭ – чувствительный элемент

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамова И.М. Научное обоснование методологии комплексного контроля спиртового и ликероводочного производства с целью повышения качества и безопасности алкогольной продукции: Автореф. дис … д-ра. техн. наук: 05.18.07 – М., 2014. – 51 с.

2. Австриевских А. Н. Управление качеством на предприятиях пищевой и перерабатывающей промышленности. Учебник / А. Н. Австриевских. — 2-е изд., испр. и доп. — Новосибирск : Сиб. унив. изд-во. 2007. — 268 с.

3. Адилов Р. М. Исследование и разработка методов анализа многоградационных растровых изображений в системах технического зрения: Автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.13.17 – Пенза. 2005. – 26 с.

4. Адилов, Р.М. Системы искусственного интеллекта. Модуль 3. Системы машинного зрения. Учеб. пособие для вузов / Р.М. Адилов. – Пенза: ПГТА. 2008. – 132 с.

5. Андреев Е.Б., Куцевич Н.А., Синенко О.В. SCADA-системы. Взгляд изнутри. – М.: РТСофт. 2004. – 180 с. ISBN: 5-9900271-1-7.

6. Апанасенко С. И. Автоматизация контроля влажности кондитерских масс с применением интеллектуальных технологий: Автореф. дис.... канд. техн. наук : 05.13.06 . — М. 2010. - 27 с.

7. Апанасенко С. И. Автоматизация контроля влажности кондитерских масс с применением интеллектуальных технологий : Диссертация ... канд. техн. наук: 05.13.06 . — М. 2010. — 131 с.

8. Апанасенко С.И., Благовещенская М.М., Благовещенский И.Г. О перспективах создания системы автоматического контроля влажности кондитерских масс в потоке с использованием аппарата искусственных нейронных сетей / С.И. Апанасенко, М.М. Благовещенская, И.Г. Благовещенский // Сб. науч. тр. международной НПК «Планирование и обеспечение подготовки и переподготовки кадров для отраслей пищевой промышленности и медицины». - М.: ИК МГУПП. 2012. с. 212 – 214.

9. Анисимов, Б.В., Курганов В.Д., Злобин В.К. Распознавание и цифровая обработка изображений: Учеб. пособие для вузов / Б.В. Анисимов, В.Д. Курганов, В.К. Злобин. – М.: Высш. шк. 1983. – 295 с.

10. Арзамасцев А.А., Неудахин А.В. Автоматизированная технология построения экспертных информационных систем / А.А. Арзамасцев, А.В. Неудахин // Вестник Тамбовского университета. Серия : Естественные и технические науки. – Тамбов. 2008. – Т.13. – Вып. 1. – С. 83–85.

11. Балыхин М.Г., Борзов А.Б., Благовещенский И.Г. Архитектура и основная концепция создания интеллектуальной экспертной системы контроля качества пищевой продукции // Пищевая промышленность. 2017. №11. С. 60 - 63.

12. Балыхин М.Г., Борзов А.Б., Благовещенский И.Г. Методологические основы создания экспертных систем контроля и прогнозирования качества пищевой продукции с использованием интеллектуальных технологий: Монография / М.Г. Балыхин, А.Б. Борзов, И.Г. Благовещенский. – М.: Франтера, 2017, - 395 с.

13. Барский А. Б. Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений / А. Б. Барский. — М. : Финансы и статистика. 2004. — 176 с.

14. Батищев Д. И., Неймарк Е.А., Старостин Н.В. Применение генетических алгоритмов к решению задач дискретной оптимизации: Учеб. пособие / Д. И. Батищев, Е. А. Неймарк, Н. В. Старостин. — Нижний Новгород : Изд-во Нижегородского госуниверситета. 2006. — 136 с.

15. Березко А., Рыбкина А., Соловьев А., Красноперов Р. Интеллектуальная ГИС / А. Березко, А. Рыбкина, А. Соловьев, Р. Красноперов // Вестник ОЗН РАН. - 2009. - Т.1. - с. 1-7.

16. Беркинблит М. Б. Нейронные сети / М. Б. Беркинблит – М.: МИРОС и ВЗМШ РАО. 1993. – 96 с.

17. Битюков В.К., Хвостов А.А., Ребриков Д.И. Экспертная система определения цветовых характеристик хлебобулочных изделий //Межвузовский сб. науч. тр. «Системы управления и информационные технологии». №4.1. - Воронеж: ВГУИТ. 2008. с. 138 – 141.

18. Благовещенская М.М. Основы стабилизации процессов приготовления многокомпонентных пищевых масс: Монография.– М.: Франтера, 2009. – 281 с.

19. Благовещенская М.М. и др. Автоматика и автоматизация пищевых производств: Учебник для вузов / М.М. Благовещенская, Н.О Воронина, А.В. Казаков, И.К. Петров, Е.А. Прокофьев. – М.: Высш. шк. 1998. – 255 с.

20. Благовещенская М. М. Информационные технологии систем управления технологическими процессами: Учеб. пособие для вузов / М. М. Благовещенская, Л. А. Злобин. — М. : Высш. шк., 2005. — 768 с.

21. Благовещенская М. М., Благовещенский И.Г., Назойкин Е.А. Методика автоматической оценки качества пищевых изделий на основе теории искусственных нейронных сетей // Пищевая промышленность. - 2015. - №7. – С. 42-45.

22. Благовещенская М.М., Семина Н.А., Благовещенский И.Г., Савостин С.Д. Использование цифровой видеокамеры в качестве интеллектуального датчика системы автоматического регулирования процесса формования гранулированных комбикормов. // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. - №2. - 2014. – С. 48 - 55.

23. Благовещенская М.М., Шаверин А.В., Благовещенский И.Г. Автоматизация контроля показателей вкуса шоколадных изделий на основе использования нейронных сетей // Хранение и переработка сельскохозяйственного сырья. 2012. №8. – С. 50 – 52.

24. Благовещенский В. Г. Методологические основы автоматизации контроля органолептических показателей качества кондитерской продукции и создание на их базе интеллектуальных систем управления: Монография /В.Г. Благовещенский. — Курск :Университетская книга. 2024. — 424 с.

25. Благовещенский В. Г. Интеллектуальная автоматизированная система управления качеством халвы с использованием гибридных методов и технологий: Диссертация … канд. техн. наук : 05.13.06 - Москва, 2021. – 219 с.

26. Благовещенский В. Г. Интеллектуальный анализ данных для систем поддержки принятия решений диагностики процессов производства пищевой продукции // Цифровизация агропромышленного комплекса. Сб. науч. тр. Тамбов. 2020. Том I. – С.105-110.

27. Благовещенский В. Г. Использование методов визуальной корреляции для анализа данных от различных источников // Цифровизация агропромышленного комплекса. Сб. науч. тр. Тамбов. 2020. Том I. – С.87-92.

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

29. 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 сб. науч. тр. П международной НП конференции «Автоматизация и управление технологическими и бизнес- процессами в пищевой промышленности». М.: ИК МГУПП. 2016. - С. 58 – 62.

30. Благовещенский В.Г и др. Обзор используемых на пищевых предприятиях в АСУТП рабочих станций, операторских пультов и перспективы их применения /И.Г. Благовещенский, Е.Б. Карелина, А.Н. Петряков,В.И.Фомушкин, В.Г. Благовещенский // В сб. науч. тр. П международной НП конференции «Автоматизация и управление технологическими и бизнес- процессами в пищевой промышленности». М.: ИК МГУПП. 2016. - С. 16 – 20.

31. 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.

32. Благовещенский В.Г. и др. Разработка интеллектуальных аппаратно-программных комплексов мониторинга процессов сепарирования дисперсных пи-

щевых 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.

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

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

35. Благовещенский В.Г. и др. Задача оценки степени готовности шоколадных масс к формованию/ В.Г. Благовещенский, М.М. Благовещенская, Л.А. Крылова // Сб. науч. тр. XV международной научной конференции «Живые системы и биологическая безопасность населения». М.: ИК МГУПП. 2017. - С. 108-112.

36. Благовещенский В.Г. и др. Калориметр для контроля готовности шоколадных масс к отвердению, работающий в технологической линии/ В.Г. Благовещенский, М.М. Благовещенская, Л.А. Крылова// Сб. науч. тр. XV международной научной конференции «Живые системы и биологическая безопасность населения». М.: ИК МГУПП. 2017. - С. 112-116.

37. Благовещенский В.Г. и др. Разработка экспертной системы контроля качества в процессе приготовления халвы/ В.Г. Благовещенский, М.М. Благовещенская // Сб. науч. тр. XV международной научной конференции «Живые системы и биологическая безопасность населения». М.: ИК МГУПП. 2017. - С. 132-137.

38. 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.

39. 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.
40. Благовещенский В.Г. и др. Автоматизация процесса приготовления сахарного сиропа/ В.Г. Благовещенский, Л.А. Крылова, М.Ю. Никитушкина // Сб. науч. тр. I НП конференции с международным участием «Передовые пищевые технологии: состояние, тренды, точки роста». М.: ИК МГУПП. 2018. - С. 663-667.
41. Благовещенский В.Г. и др. Исследования показателей качества помадного сиропа в процессе охлаждения / Л.А. Крылова, В.Г. Благовещенский, М.Ю. Никитушкина // Сб. науч. тр. конференции с международным участием «Современное состояние и перспективы развития упаковки в пищевой промышленности». М.: ИК МГУПП. 2018. - С. 150-155.
42. Благовещенский В.Г., Шкапов П.М., Благовещенский И.Г., Кротов И.В., Мокрушин С.А. Адаптивное управление нестационарными процессами хранения семян подсолнечника на основе использования интеллектуальных технологий // Научно-технический вестник Поволжья. 2024. № 11. - С. 89-93.
43. Благовещенский В.Г. и др. Автоматизация стадий приготовления помадного сиропа при производстве кондитерских изделий / В.Г. Благовещенский, М.Ю. Никитушкина, Л.А. Крылова // Сб. науч. тр. конференции с международным участием «Современное состояние и перспективы развития упаковки в пищевой промышленности». М.: ИК МГУПП. 2018. - С. 126-129.
44. Благовещенский В.Г. Разработка новой линейки персонализированной кондитерской продукции с использованием технологий кастомизации // Научно-технический вестник Поволжья. 2024. № 12. - С. 225-228.
45. Благовещенский В.Г. и др. Адаптивная система управления с идентификатором нестационарными технологическими процессами в отраслях пищевой про-

мышленности/ М.Г. Балыхин, И.Г. Благовещенский, Е.А. Назойкин, В.Г. Благовещенский// Сб. науч. тр. конференции «Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности». М.: ИК МГУПП. 2019.- С. 32-39.

46. Благовещенский В.Г. и др. Концепция разработки ротационных вискозиметров на базе технологий промышленного интернета вещей / С.А. Рылов, И.В. Кротов, М.М. Благовещенская, В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский, А.Е. Яблоков // Хранение и переработка сельхозсырья. 2024. № 4. - С. 70-83.

47. 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 // Сб. науч. тр. конференции «Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности». М.: ИК МГУПП. 2019. - С. 53-60.

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

49. 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 // Сб. науч. тр. конференции «Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности». М.: ИК МГУПП. 2019. - С. 81-89.

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

51. Благовещенский В.Г. и др. Повышение качества идентификации и позиционирования объекта на цифровых стерео изображениях при помощи алгоритмов

построения карты глубины/ А.Н. Петряков, М.М. Благовещенская, В.Г. Благовещенский, В.В. Митин, И.Г. Благовещенский // Сб. науч.тр. конференции «Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности». М.: ИК МГУПП. 2019. - С. 133-138.

52. 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 // Сб. науч. тр. конференции «Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности». М.: ИК МГУПП. 2019. С. 171-180.

53. 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.

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

55. Благовещенский В. Г. Использование методов визуальной корреляции для анализа данных от различных источников/ Благовещенский В. Г. // Сб. науч. тр. П международной НП конференции «Цифровизация агропромышленного комплекса». Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ». 2020. Том I. -С.87-92.

56. Благовещенский В. Г. и др. Создание базы данных для информационно-аналитического сервиса подбора персонализированного рациона питания/ Д.К. Печерский, Е.А. Назойкин, И.Г. Благовещенский, В.Г. Благовещенский // Сб. науч. тр. П международной НП конференции «Цифровизация агропромышленного комплекса». Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ». 2020. Том I. - С.174-179.

57. 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.

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

59. 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.

60. Благовещенский И.Г. Автоматизированная экспертная система контроля в потоке показателей качества помадных конфет с использованием нейросетевых технологий и систем компьютерного зрения: Диссертация.... канд. техн. наук: 05.13.06. - М., 2015, - 195 с.

61. Благовещенский И.Г. Методологические основы создания экспертных систем контроля и прогнозирования качества пищевой продукции с использованием интеллектуальных технологий: Диссертация .... докт. техн. наук: 05.13.06. - М., 2018, - 418 с.

62. Благовещенский И.Г., Благовещенская М.М., Апанасенко С.И. Создание виртуальных датчиков на основе нейронной сети для определения основных характеристик кондитерских масс./ И.Г. Благовещенский, М. М. Благовещенская, С.И. Апанасенко // Кондитерское и хлебопекарное производство, №11 (154), 2014. – С. 37 - 41.

63. Благовещенский И.Г. , Ивашкин Ю.А., Носенко С.М., Носенко А.С. Структурно - параметрическая модель процесса приготовления сахарного сиропа. // Хранение и переработка сельхозсырья. 2015. №4. – 21 – 26.

64. Благовещенский И.Г., Карелина Е.Б., Петряков А.Н., Фомушкин В.И., Благовещенский В.Г. Обзор используемых на пищевых предприятиях в АСУТП рабочих станций, операторских пультов и перспективы их применения // Сб. науч. тр. II международной НП конференции «Автоматизация и управление технологическими и бизнес-процессами в пищевой промышленности». М.: ИК МГУПП. 2016. - С. 16-20.

65. Благовещенский И.Г., Назойкин Е.А., Савельев В.О., Благовещенский В.Г. Параметрическая модель процесса приготовления карамельной массы под избыточном давлением в змеевиково-варочной колонке // Сб. науч. тр. общеуниверситетской конференция студентов и молодых ученых "День науки". Том 1. 2017. - С. 258-263.

66. Благовещенский И.Г. , Носенко С.М. Экспертная интеллектуальная система мониторинга процесса формования помадных конфет с использованием системы технического зрения // Пищевая промышленность, №6 , 2015. №6. – С. 32 – 35.

67. Благовещенский И.Г., Троицкий А.К. Использование метода Превитта при разработке алгоритмов обработки цифровых / И.Г. Благовещенский, А.К. Троицкий // Материалы 1 международной НП конференции «Планирование и обеспечение подготовки и переподготовки кадров для отраслей пищевой промышленности и медицины». - М.: ИК МГУПП, 2012. - С. 153 – 157.

68. Благовещенский И.Г., Троицкий А.К. Теоретические основы использования системы технического зрения в системе автоматического управления технологическими процессами //Материалы 1 международной НП конференции «Планирование и обеспечение подготовки и переподготовки кадров для отраслей пищевой промышленности и медицины». - М.: ИК МГУПП, 2012. - С. 165 – 172.

69. Благовещенский И.Г., Троицкий А.К. Формализация исходных изображений с целью выделения информации для обработки цифровых видеокадров с использованием различных методов // Сб. науч. тр. международной НП конференции «Планирование и обеспечение подготовки и переподготовки кадров для отраслей пищевой промышленности и медицины». - М.: ИК МГУПП, 2012. - С. 157 – 160.

70. Богуславский А.А. Методы программирования систем технического зрения реального времени: Автореф. дис. … доктора физ.-мат. наук: 05.13.11 – М., 2006, - 52 с.

71. Борзенко И.М. Адаптация, прогнозирование и выбор решений в алгоритмах управления технологическими объектами.–М.: Энергоатомиз-дат,1984.–144 с.

72. Боровиков, В. В. Нейронные сети. STATISTICA Neural Networks. Методология и технологии современного анализа данных/ В. В. Боровиков. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Горячая линия - Телеком, 2008. — 288 с.

73. Буряк Д. Ю. Метод автоматизированного конструирования процедур анализа изображений с использованием генетических алгоритмов: Дис.... канд. физ.-мат. наук: 05.13.11/ М., 2004. – 218 с.

74. Бутковский А.Г. Методы управления в системах с распределенными параметрами. - М.: Наука, 1975. – 358 с.

75. Валетов В.А., Орлова А.А., Третьяков С.Д. Интеллектуальные технологии изготовления приборов и устройств / В.А. Валетов, А.А. Орлова, С.Д. Третьяков. Учеб. пособие для вузов –С.Пб.: ИТМО, 2008, - 133 с.

76. Вассерман, Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика. / Ф Вассерман – М.: Мир, 1992. – 279 с.

77. Верещака Т.В. Визуальные методы дешифрирования / Т.В. Верещака, А.Т. Зверев, С.А Сладкопевцев, С.С. Судакова. - М: Недра. - 1990. - 341 с.

78. Визильтер, Ю.В. и др. Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения: Курс лекций и практических занятий / Ю.В. Визильтер, С.Ю. Желтов, А.В. Бондаренко, М.В. Осоков, А.В. Моржин. – М.: Физматкнига, 2010. – 672 с.

79. Визильтер Ю.В. и др. Проблемы технического зрения в современных авиационных системах / Ю.В. Визильтер, С.Ю. Желтов // Механика, управление и информатика. - 2011. - № 6. - С. 11- 44.

80. Волков, С.В. Методы и проблемно-ориентированные программы математического моделирования динамических систем по фазовым портретам: Автореф. дис.... д-ра. техн. наук: 05.13.18.- М., 2004, - 24 с.

81. Волчихин В. И. и др. Основы обучения искусственных нейронных сетей: учеб. пособие / В. И. Волчихин, А. И. Иванов. — Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2004. — 112 с.

82. Вороновский Г.К. и др. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности. / Г.К. Вороновский, К.В. Махотило, С.Н. Петрашев, С.А Сергеев – Харьков: Изд-во Основа, 1997. – 114 с.

83. Восьмирко, С. О. Разработка математического и программного обеспечения среды моделирования нейронных сетей для решения задач прогнозирования. Автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.13.11.- М., 2004, - 24 с.

84. Втюрин В. А. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. Основы АСУТП : Учеб. пособие / В. А. Втюрин. — СПб: СПбГЛТА, 2006. — 152с.

85. Галушкин А.И. Теория нейронных сетей. Учебник для вузов. Книга 1. – М.: ИПРЖР, 2012. - 147 с.

86. Галушкин А. И. Нейронные сети: основы теории: монография / А. И. Галушкин. — М. : Горячая линия - Телеком, 2012. — 496 с.

87. Гилл Ф., Мюррей У., Райт М. Практическая оптимизация. – М.: Мир, 1985. - 509 с.

88. Гитис Л.Х. Кластерный анализ в задачах классификации, оптимизации и прогнозирования. – М.: Издательство МГУ. 2001. – 104 с.

89. Гнеушев А. Н. Математическое моделирование выделения признаков видеоизображения в реальном масштабе времени: Автореф. дис....канд. физ.-мат. наук : 05.13.18. – М., 2006, - 24 с.

90. Гнеушев А. Н. Математическое моделирование выделения признаков видеоизображения в реальном масштабе времени: Дис. ... канд. физ.-мат. наук : 05.13.18. – М., 2006. – 27 с.
91. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. – М.: "Техносфера". 2006. – 616 с.
92. Гончаров К.А., Благовещенский И.Г., Назойкин Е.А., Благовещенский В.Г., Макаровская З.В. Использование библиотеки opencv для работы с техническим зрением // Сб. науч. тр. Конференции «Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности». – М.: ИК МГУПП. 2019. С. 53-60.
93.Горбань А.Н. Обучение нейронных сетей. – М.: СП “ParaGraph”, 1990.– 412 с.
94. Горбунов, В. А. Использование нейросетевых технологий для повышения энергетической эффективности теплотехнологических установок / В. А. Горбунов. — Иваново : из-во ИГЭУ, 2011. — 476 с.
95. ГОСТ Р ИСО 9000-2008. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь.- М.: Изд-во стандартов, 2008. – 12 с.
96. ГОСТ Р ИСО 9001-2008. Системы менеджмента качества. Требования. – М.: Изд-во стандартов, 2008. – 12 с.
97. ГОСТ 12572-93 «Сахар-песок и сахар-рафинад. Методы определения цветности». – М.: Изд-во стандартов, 2008. – 4 с.
98. ГОСТ 4570 – 2014 «Конфеты. Общие технические условия». – М.: Изд-во стандартов, 2014. – 8 с.
99. ГОСТ 5897-90 «Изделия кондитерские. Методы определения органолептических показателей качества». – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 5 с.
100. ГОСТ Р ИСО 3972-2005 «Органолептический анализ. Методология. Метод исследования вкусовой чувствительности». – М.: Изд-во стандартов, 2005. – 6 с.
101. ГОСТ 21-94 «Сахар-песок. Технические условия». – М.: Изд-во стандартов, 1994. – 8 с.
102. ГОСТ 6502-94. «Халва. Общие технические условия». – М.: Изд-во стандартов, 1994. – 12 с.

103. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. – М.: Горячая линия-телеком, 2009. – 352 с.

104. Деркачев, А. Н. Нейросетевое моделирование процессов многомерной классификации объектов с разнородными признаками: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.11 / Деркачев Александр Николаевич. -Воронеж, 2006. — 128 с.

105. Деркачев, А. Н. Нейросетевое моделирование процессов многомерной классификации объектов с разнородными признаками: Автореф. дис....канд. физ.-мат. наук : 05.13.18. – Воронеж, 2006, - 24 с.

106. Дикий Б.Ф. Автоматический контроль состава и свойств пищевых продуктов – М.: Пищевая промышленность, 1988. – 218 с.

107. Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления: Перевод с английского – Лаборатория базовых знаний, 2002. – 438 с.

108.Драгилев А.И., Маршалкин Г.А. Основы кондитерского производства. Учебник для студентов высших учебных заведений.–М.: ДеЛи Принт,2005.– 532 с.

109. Донской Д. А. Моделирование искусственных нейронных сетей в системе MATLAB. Часть 2. Линейные сети: метод. указания к выполнению лабораторных работ / Д. А. Донской. — Пенза: Пенз. гос. ун-т, 2005. —33 с.

110. Дуда, Р. Распознавание образов и анализ сцен. / Р. Дуда, П. Харт. Перевод с английского Г.Г. Вайештейнв и А.М. Васьковского, под редакцией В.Л. Стефанюка. – М.: Издательство «МИР», 1976. – 509 с.

111. Дудкин, А.К. Исследование и разработка методов и алгоритмов идентификации объектов изображений в системах машинного зрения: Автореф. дис … канд. техн. наук: 05.13.16 – Ленинград, 1991. – 16 с.

112. Дьяконов В. П. MATLAB 6.5 SP1/7/7 SP2 + Simulink 5/6. Инструменты искусственного интеллекта и биоинформатики./ В. П. Дьяконов, В. В. Круглов. Серия «Библиотека профессионала". — М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2009. — 456 с.

113. Егоров А.Ф., Савицкая Т.В., Дударов С.П. Использование искусственных нейронных сетей для прогнозирования загрязнения атмосферного воздуха промышленными источниками выбросов опасных химических веществ // Химическая технология, 2004, №1, - с.35-42.

114. Егоров А.Ф., Савицкая Т.В., Дударов С.П. Использование искусственных нейронных сетей для идентификации промышленных источников загрязнения атмосферного воздуха.Ч.2. Идентификация аварийных источников загрязнения атмосферного воздуха // Химическая промышленность сегодня, 2004, №8. – С. 24 – 28.

115. Еремин, Д. М. и др. Искусственные нейронные сети в интеллектуальных системах управления. / Д. М. Еремин, И. Б. Гарцеев – М.: МИРЭА, 2004. – 75 с.

116. Ефимова, Т.В. Численные методы и алгоритмы обработки данных для оптического контроля дисперсной структуры жидких пищевых сред: Автореф. дис....канд. физ.-мат. наук: 05.13.18– М., 2006, 24 с.

117. Желтов, С.Ю. Разработка теории, методов и алгоритмов машинного зрения в задачах обнаружения объектов: Автореф. дис … докт. техн. наук: 05.13.01. – Москва, 2002. – 28 с.

118. Жиров М.В., Макаров В.В., Солдатов В.В. Идентификация и адаптивное управление технологическими процессами с нестационарными параметрами. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 204 с.

119. Заенцев, И. В. Нейронные сети: основные модели / И. В. Заенцев — Воронеж, 1999. — 76 с.

120. Зиновьев, А.Ю. Визуализация многомерных данных. / А.Ю. Зиновьев – М.: ИПЦКГТУ, 2000. – 180 с.

121. Зубченко А.В. Технология кондитерского производства: Учебник для вузов. - Воронеж: ВГТА. 2001 г. - 432 с.

122. Зубченко А.В. Физико- химические основы технологии кондитерских изделий. Учебник для вузов. – 2 –е изд., перераб. и доп. – Воронеж: ВГТА. 2001 г. - 389 с.

123. Иванов Я. В. Математическое и алгоритмическое обеспечение автоматизации процесса формования кондитерских масс с использованием цифровой видеосъемки:Автореф.дис … канд. техн. наук: 05.13.06.– Москва, 2008.–28 с.
124. Иванов Я. В. Математическое и алгоритмическое обеспечение автоматизации процесса формования кондитерских масс с использованием цифровой видеосъемки: дис. ... канд. техн. наук : 05.13.06 / Иванов Яков Викторович. — М., 2008. — 179 с.
125. Иванов Я.В., Благовещенская М.М., Благовещенский И.Г. Автоматизация процесса формования конфетных масс на основе математического и алгоритмического обеспечения с использованием в качестве интеллектуального датчика цифровой видеокамеры // Сб. науч. тр. 1 международной НПК «Планирование и обеспечение подготовки и переподготовки кадров для отраслей пищевой промышленности и медицины». - М.: Изд. Компл. МГУПП, 2012. - С. 215 – 218.
126. Ивашкин Ю.А. Структурно-параметрическое моделирование и идентификация аномальных ситуаций в сложных технологических системах // Проблемы прогнозирования. – 2004. – № 3. – С. 39-43.
127. Ивашкин Ю.А. Системный анализ и исследование операций в прикладной биотехнологии. Учебное пособие. М.: МГУПБ, 2005. – 196 с.
128. Ивашкин Ю.А. Агентные технологии и мультиагентное моделирование систем. Учебное пособие. М.: МФТИ, 2013. – 268 с.
129. Ивашкин Ю.А., Назойкин Е.В. Моделирование систем. Структурно-параметрические и агентно- ориентированные технологии. Лабораторный практикум. – М.: МГУПБ, 2010. – 134 с.
130. Калацкая, Л. В. И др. Организация и обучение искусственных нейронных сетей : Учеб. пособие / Л. В. Калацкая, В. А. Новиков, В. С. Садов . — Минск : БГУ, 2003. — 75 с.
131. Каллан, Р. Основные концепции нейронных сетей. (The Essence of Neural Networks First Edition). / Р Каллан. – М.: «Вильямс», 2001. – 288 с.

132. Кантере В.М., Матисон В.А., Фоменко М.А. Сенсорный анализ продуктов питания. – М.: Типография РАСХН, 2003. -342 с.

133. Карелина Е.Б., Благовещенская М.М., Благовещенский В.Г., Клехо Д.Ю., Благовещенский И.Г. Интеграция адаптивного управления в технологические процессы пищевой отрасли // Сб. науч. тр. Конференции «Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности».- М.: ИК МГУПП. 2019. - С. 81-89.

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

135. Карунова Е.В. Погноз качества металлургического кокса на основе его физико- химических показателей : Автореф. дис … канд. техн. наук: 05.17.07. – М., 2010. – 28 с.

136. Карушева Н.В. Технология производства конфет. Учебник для вузов.– 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1989. – 215 с.

137. Кафаров В. В. Методы кибернетики в химии и химической технологии. – М.: Химия, 1985. – 424 с.

138. Кафка Б.В., Лурье И.С. Технохимический контроль кондитерского производства. Учебник для вузов. –М.: Изд-во «Пищевая промышленность». 1967. - 282 с.

139. Козлова Т.Д., Фролова М.А., Мефедова Ю.А. Формализация базы знаний экспертной системы поддержки процесса диагностирования автоматических станочных модулей// Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ», Т. 9, 2016, №1.

140. Коротнев В.Д., Винничек Л.Б., Кочетова Г.Н. Организация и управление производством – М.: Колосс, 2005. – 316 с.

141. Красников С.А. Методология построения систем контроля качества жидких сред по спектральным характеристикам: Автореф. дис … докт. техн. наук: 05.13.01. – М., 2011. – 35 с.

142. Краснов А.Е. и др. Информационные технологии пищевых производств в условиях неопределенности: системный анализ, управление и прогнозирование с элементами компьютерного моделирования / А.Е. Краснов, О.Н. Красуля, О.В. Большаков, Т.В Шленская. Под ред. А.Е. Краснова и О.Н. Красули. – М.: ВНИИМП, 2001. – 346 с.

143. Краснов А.Е. и др. Видеоспектрометр для экспресс- контроля пищевых сред и готовых продуктов / А.Н. Дроханов, А.Е. Краснов. Монография. Издательство: Лань. 2019. - 143 с.

144. Краснов А.Е., Красуля О.П., Большаков О.В., Шленская Т.В. Информационные технологии пищевых производств в условиях неопределенности / А.Е. Краснов, О.Н. Красуля, О.В. Большаков, Т.В Шленская. Под ред. А.Е. Краснова и О.Н. Красули. – М.: ВНИИМП, 2011. – 496 с.

145. Краснова Н.А. Разработка моделей оценки качества продовольственных товаров (на примере водок и виноградных вин: Автореф. дис … канд. техн. наук: 05.13.18. – М., 2006. – 35 с.

146. Красуля О.Н., Николаева С.В., Краснов А.Е., Шумский Ю.А. Новый взгляд на комплексные пищевые добавки с позиции теории систем. Мясная индустрия. 2014. № 10. - С. 46-48.

147. Красуля О.Н., Николаева С.В., Токарев А.В., Краснов А.Е., Панин И.Г. Моделировани рецептур пищевых продуктов и технологий их производства: теория и практика: Учеб. пособие. Санкт- Петербург, 2015. - 274 с.

148. Кротов В.Ф., Гурман В.И. Методы и задачи оптимального управления. – М.: Наука, 1973. – 446 с.

149. Круг, П.Г. Нейронные сети и нейрокомпьютеры: Учеб. пособие. — М.: Изд-во МЭИ, 2002. — 176 с.

150. Круглов, В. В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В.В. Круглов, В.В. Борисов. – М.: Телеком, 2001. – 382 с.

151. Круглов, В. В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети: учеб. пособие / В. В. Круглов, М. И. Дли, Р. Ю. Голунов. -М. : Физматлит, 2001. — 224 с.

152. Крылов А.В. О проблемах организации экспертизы // Проблемы полиграфии и издательского дела. М.: 2006. - №4. – С.117- 122.

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

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

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

156. Кулясов С. М. Математические методы преобразования изображений с целью выравнивания освещенности и контрастирования слаборазличимых объектов: Дис. ... канд. физ.-мат. наук: 05.13.17/ М., 2003, 148 с.

157. Крупенников, И.В. Разработка методов и алгоритмов обработки данных систем машинного зрения в реальном масштабе времени: Автореф. дис … канд. техн. наук: 05.13.15. – М., 2011. – 18 с.

158. Кулясов С. М. Математические методы преобразования изображений с целью выравнивания освещенности и контрастирования слаборазличи-мых объектов: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук: 05.13.17.- М., 2003. – 18 с.

159. Кусков А.М., И.Г. Благовещенский Прототип динамической интегрированной экспертной системы для мониторинга и диагностики плавучести подводных военных объектов // Сборник докладов международной научной сессии НИЯУ МИФИ. - М.: МИФИ, 2014. с. 149 – 151.

160. Лазарев В.М. Нейросети и нейрокомпьютеры: монография / В. М. Лазарев, А. П. Свиридов. — М. :МИРЭА, — 2011. — 131 с.

161. Леонов М. В. и др. Эффективный алгоритм, реализующий замкнутый набор булевых операций над множествами многоугольников на плоскости / М.В. Леонов, А.Г. Никитин // Препринт Института систем информатики СО РАН. - 1997. - №. 46. - с. 20.

162. Логовский А.С. Зарубежные нейропакеты: современное состояние и сравнительные характеристики / А. С. Логовский // Нейрокомпьютер. — 1998. — № 1-2. — С. 17—24.

163. Лукьяница А.А. и др. Цифровая обработка изображений / А.А. Лукьяница, А.Г. Шишкин – М.: «Ай-Эс-Эс Пресс», 2009. – 518 с.

164. Люгер Д. Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем / Д. Ф. Люгер – 4-е изд., пер. с англ. - М.: Изд. «Вильямс», 2003. – 268 с.

165. Макаренко А.А. Алгоритмы и программная система классификации полутоновых изображений на основе нейронных сетей: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.18.- М., 2007. – 22 с.

166. Манжула В.Г. и др. Нейронные сети Кохонена и нечеткие нейронные сети в интеллектуальном анализе данных / В.Г. Манжула, Д.С. Федяшов. - М.: МИФИ. 2011. – 214 с.

167. Марголин Е. Методика обработки данных экспертного опроса. // Полиграфия . – 2006. - №5. – С. 46 – 52.

168. Маркелов К.С. Модель повышения информативности цифровых изображений на базе метода суперразрешения // Электронный научно- технический журнал Инженерный вестник. М.: МГТУ им. НЭ Баумана. - 2013. №3. – С. 27 – 32.

169. Марценюк М.А. Компьютерное зрение: Уч.-метод. пособие / М.А. Марценюк. – Пермь: ПГУ. 2007. – 204 с.

170. Маслов А. В. Структурно-механические характеристики пищевых продуктов: Справочник . - М. : Легкая и пищевая промышленность, 1982. — 294 с.

171. Матвеев И.А. Метод проекций яркости при поиске зрачка на изображении / И.А Матвеев., А.Н. Трекин // Вестник ТГУ. Серия: Прикладная математика. 2012. №.4. – С. 78 – 82.

172. Матвеев И.А. Поиск изображения по яркости предмета/ И.А Матвеев., А.Н. Трекин //Вестник ТГУ. Серия: Прикладная математика. 2012. №.5. – С. 43 – 47.

173. Матисон В. А. Органолептический анализ продуктов питания: Учебник / В. А. Матисон, Д. А. Еделев, В. М. Кантере, М. : Изд-во РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева. 2010. — 294 с.

174. Машины и аппараты пищевых производств. Учебник для вузов. /С.Т. Антипов, И.Т. Кретов, А.Н. Остриков и др. Под ред. Акад. РАСХН В.А. Панфилова. - 2-е и–д., перераб. и доп. – М.: КолосС. 2009. – 610 с.

175. Мелихов М. В. Разработка и исследование алгоритмического аппарата обработки видеоинформации, распознавания объектов и сцен в предопределенной ситуации: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01.- М., 2005. – 22 с.

176. Методы классической и современной теории автоматического управления. Т.1: Математические модели, динамические характеристики и анализ систем автоматического управления. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 656 с.

177. Методы классической и современной теории автоматического управления. Т.1: Математические модели, динамические характеристики и анализ систем автоматического управления. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 656 с.

178. Методы компьютерной обработки изображений / Под ред. В.А. Сойфера. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 784 с.

179. Миттаг, Х. Й. Статистические методы обеспечения качества : Учебник (пер. с нем.) / Х. Й. Миттаг, Х. Ринне ; пер. Е. Кокот, ред. Б.Н. Марков. — Изд. перераб. и доп. — М. : Машиностроение, 1995. — 601 с.

180. Мишель Ж. Программируемые контроллеры. Архитектура и применение. / Пер. с франц. И.В. Федотова; Под ред. Б.И. Лыткина. - М.: Машиностроение. 1992. - 320 с.

181. Мокрова Н.В. Проблемы развития интеллектуальных технологических систем. В сборнике: Зелёные технологии в жизненном цикле зданий и сооружений. сборник докладов научно-технического семинара. Москва, 2022. С. 86-93.

182. Наджафи М. М. Проекционный метод решения некоторых задач обработки и анализа изображений: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук: 05.13.18. - М., 2004. – 22 с.

183. Нейросетевые системы управления / В.А. Терехов, Д.В. Ефимов, И.Ю. Тюкин. - М.: Высшая школа, 2002. – 184 с.

184. Никитина М.А. Инновационные решения в оценке качества белоксодержащих пищевых продуктов / М.А. Никитина // Наука – главный фактор инновационного прорыва в пищевой промышленности: сборник материалов юбилейного форума, посвященного 85-летию со дня основания ФГАНУ "Научно-исследовательский институт хлебопекарной промышленности". – Москва. 2017. – С. 227-230.

185. Никитина М.А. и др. Моделирование как метод научного познания сложных мясных систем / М.А.Никитина, А.Н. Захаров, В.В. Насонова, А.Б. Лисицын // Теория и практика переработки мяса. 2017. Т. 2. № 3. – С. 66-78.

186. Никитина М.А. Умные технологии в сенсорной оценке пищевых продуктов / М.А. Никитина, А.Н. Захаров, Т.Г. Кузнецова, А.А. Лазарев, А.Б. Лисицын // Международная научно-практическая конференция, посвященная памяти Василия Матвеевича Горбатова. – Москва. 2018. № 1. – С. 178-182.

187. Никитина М.А., Лисицын А.Б., Захаров А.Н., Сусь Е.Б., Пилюгина С.А., Дыдыкин А.С., Устинова А.В. Пищевые продукты // Свидетельство о регистрации базы данных № 2015620557 от 30.03.2015 г.

188. Никитина М.А. Компьютерная система сбора и оценки органолептических показателей качества пищевых продуктов / М.А. Никитина, Ю.А. Ивашкин // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ. – Санкт-Петербург. 2019. Т. 1. – С. 73-78.

189. Никитина М.А. Интеграция цифровых технологий в процесс принятия решений при разработке пищевых продуктов заданного состава и свойств. Автореф. дис … докт. техн. наук: 05.13.06. – М.: МГУПП, 2021. – 45 с.

190. Николаев А.Б. и др. Нейросетевые методы анализа и обработки данных: Учеб. пособие / А. Б. Николаев, И. Б. Фоминых. - М. : МАДИ (ГТУ), 2003. - 95 с.

191. Николайчук О.И. Современные средства автоматизации. – М.: Солон-пресс, 2006. – 162 с.

192. Новиков, А.Н. Разработка теоретических и методологических принци-пов создания систем компьютерного зрения для автоматизации контроля качества текстильных материалов: Автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.13.06. - М., 2014. – 36 с.

193. Новиков, Л.В. Основы вейвлет-анализа сигналов. Уч. пособие. – Санкт-Петербург, 2007. – 152 с.

194. Носенко С.М., Благовещенский И.Г., Шаверин А.В., Благовещенская М.М. Автоматизация контроля показателей вкуса шоколадных изделий с использованием интеллектуальных технологий. / С.М. Носенко, И.Г. Благовещенский, А.В. Шаверин, М. М. Благовещенская // Кондитерское и хлебопекарное производство. 2014. №10. – С. 56 – 59.

195. Олефирова А. П. Идентификация пищевых продуктов (органолептическая оценка) при обязательной сертификации. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине "Сертификация пищевых продуктов"— Улан-Удэ: ВСГТУ, 2002. — 27 с.

196. Олейникова А.Я., Магомедов Г.О., Мирошникова Т.Н. Практикум по технологии кондитерских изделий. – СПб.: ГИОРД. 2005. – 480 с.

197. Олссон Г., Пиани Д. Цифровые системы автоматизации и управления – СПб.: Невский диалект. 2001. – 268 с.

198. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации = Sieci neu-ronwe do przetwarzania informacji (польск.) / Станислав Осовский. - М. : Финансы и статистика. 2004 — 343 с.

199. Остапчук Н.В. Основы математического моделирования процессов пищевых производств: Учебное пособие. – 2 –е изд., перераб. и доп. – К.: Выща шк., - 1991. – 367 с.

200. Панищев В. С. Методы, высокопроизводительные алгоритмы и устройства обработки изображений с использованием нейроподобных структур: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.05. - М. 2005. – 18 с.

201. Панищев В. С. Методы, высокопроизводительные алгоритмы и устройства обработки изображений с использованием нейроподобных структур: Дис. ...канд. техн. наук: 05.13.05. – Курск. 2005. - 148 с.

202. Панфилов В.А. Оптимизация технологических систем кондитерского производства. Стабилизация качества продукции. – М.: Пищевая пром-сть. 1980. – 248 с.

203. Петров А.Ю., Благовещенская М.М., Благовещенский В.Г., Ионов А.В., Благовещенский И.Г. Главные принципы при построении системы компьютерного зрения в хлебопекарной промышленности // Сб. науч. тр. конференции «Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности». 2019. - С. 121-126.

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

205. Петряков А.Н., Благовещенская М.М., Благовещенский В.Г., Митин В.В., Благовещенский И.Г. Повышение качества идентификации и позиционирования объекта на цифровых стерео изображениях при помощи алгоритмов построения

карты глубины // Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности. Сборник материалов конференции. 2019. - С. 133-138.

206. Писаревский А.Н. и др. Системы технического зрения (принципиальные основы, аппаратное и математическое обеспечение) / А.Н. Писаревский, А.Ф. Чернявский, Г.К. Афанасьев . – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд. 1988.– 424 с.

207. Письменный В. В. Вероятностные методы распознавания для контроля показателей качества // Химическая промышленность, 1976, № 7. – С. 64 – 68.

208. Подлегаева Т. В. Методы исследования свойств сырья и продуктов питания : Учеб. пособие / Т. В. Подлегаева, А. Ю. Просеков. — Кемерово : КемТИПП, 2004. — 101 с.

209. Пожарникова Е. Н. и др. Сенсорный анализ продовольственных товаров / Е. Н. Пожарникова, Н. А. Феоктистова, Д. А. Васильев. — Ульяновск : УГСХА, 2008. — 87 с.

210. Потапов А. А. Новейшие методы обработки изображений / Под ред. А.А. Потапова - М.: ФИЗМАТЛИТ. - 2008. - 496 с.

211. Потемкин В.Г. Система MATLAB. Справочное пособие – М.: Диалог-МИФИ, 1997.

212. Протасов С.И. Методы и алгоритмы анализа, передачи и визуализации данных в системах компьютерного стереозрения: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук: 05.13.17. - Воронеж, 2013. – 16 с.

213. Ребриков Д.И. Автоматизированная система определения равномерно-сти окраски поверхности // Межвузовский сборник научных трудов «Системы управления и информационные технологии».– Воронеж: 2009. №2.2. – С. 78 – 83.

214. Рейер И. А. Методы анализа формы изображений на основе непрерывного гранично-скелетного представления: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.11. - М., 2004. – 22 с.

215. Рейер И. А. Методы анализа формы изображений на основе непрерывного гранично-скелетного представления: Дис. ... канд. техн. наук: 05.13.11/ М., 2004. – 168 с.

216. Рогов И. А. Физические методы обработки пищевых продуктов / И. А. Рогов, А. В. Горбатов. — М. : Пищевая промышленность. 1974. — 582 с.

217. Родина Т.Г., Вукс Г.А. Дегустационный анализ продуктов. – М.: Колос, 1994. – 128 с.

218. Рыжов С.А., Николаев Н.С. Роботизированный завод сырокопченых колбас. – М.:Хранение и переработка сельхозсырья. 2018. № 4. - С. 147-153.

219. Руденко О.В. Высокоточное нейросетевое распознавание в системах технического зрения : Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01. - М., 2011. – 23 с.

220. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский ; пер. с пол. И. Д. Рудинского. — М. : Горячая линия – Телеком. 2008. — 383 с.

221. Савостин С.Д., Благовещенская М.М., Благовещенский И.Г. Автомати-зация контроля показателей качества муки в процессе размола с исполь-зованием интеллектуальных технологий / С.Д. Савостин, М.М. Благо-вещенская, И.Г. Благовещенский // Монография. - М.: Изд-во Франтера, 2016. – 146 с.

222. Савостин С.Д. и др. Использование цифровой видеокамеры в качестве интеллектуального датчика системы автоматического регулирования процесса формования гранулированных комбикормов / Благовещенская М.М., Семина Н.А., Савостин С.Д.// «Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий», №2, 2014. – с. 48 - 56.

223. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024625642 «Органолептические показатели качества современной кондитерской продукции». Правообладатели: Благовещенский В.Г., Кротов И.В., Благовещенский И.Г. М., Роспатент. 02 декабря 2024 г.

224. Свидетельство о государственной регистрации базы данных №2024626158 «Реологические показатели качества современной кондитерской продукции». Правообладатели: Благовещенский В.Г., Благовещенский И.Г., Кротов И.В. М., Роспатент.19 декабря 2024 г.

225. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025613322 «Конструктор внешнего вида и формы кондитерских изделий». М., Роспатент. 11 февраля 2025 г.

226. Сигеру О. Нейроуправление и его приложения (Neuro-Control and its Applications) / О. Сигеру, Х. Марзуки, Ю. Рубия – 2-е. – М.: ИПРЖР, 2000. – 272 с.

227. Скобельская З.Г., Горячева Г.Н. Технология производства сахарных кондитерских изделий. Учебник. - М.: ИРПО. 2002. – 316 с.

228. Сорокопуд А. Ф. и др. Технологические линии и специальное оборудование для производства пищевых продуктов: Учеб. пособие для вузов / А. Ф. Сорокопуд, С. Д. Руднев, В. В. Сорокопуд. — Кемерово: КемТИПП, 2006. — 168 с.

229. Тадеусевич Р. Элементарное введение в технологию нейронных сетей с примерами программ/ Р. Тадеусевич, Б. Боровик, Т. Гончаж, Б. Леппер, перевод И. Д. Рудинского. - М.: Горячая линия - Телеком, 2011. – 408 с.

230. Терехов В. А. и др. Нейросетевые системы управления: Учеб. пособие для вузов / В. А. Терехов, Д. В. Ефимов, И. Ю. Тюкин. — М.: Высш. шк., 2002. — 183 с.

231. Тимофеева В. А. Товароведение продовольственных товаров : Учебник. — 12-е изд., перераб. и доп. — Ростов н/Д : Феникс. 2013. — 494 с.

232. Тихонов А.Н. и др. Методы решения некорректных задач / Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. - М.: Наука. - 1979. - 288 с.

233. Тьюки, Д.У. Анализ результатов наблюдений. – М.: Мир, 1981. – 693 с.

234. Ту Дж. Принципы распознавания образов. / Дж. Ту, Р. Гонсалес. Пер. с англ. – М.: Мир, 1978. – 368 с.

235. Феоктистова Н.А. Модели количественного оценивания качества про-довольственных товаров. - М.: «LAPLAMBERT» Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. – 158 с.

236. Фисенко В.Т. Компьютерная обработка и распознавание изображений: Учеб. пособие / В.Т. Фисенко, Т.Ю. Фисенко. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. – 192 с.

237. Форсайт Девид А. Компьютерное зрение. Современный подход: Пер. с англ. / Девид А. Форсайт, Жан Понс.– М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 928 с.

238. Фролов А. А. Нейронные модели ассоциативной памяти / А. А. Фролов, И. П. Муравьев. — М. : Наука, 1987. — 159 с.

239. Хайкин С. Нейронные сети / Саймон Хайкин. Пер. с англ. — 2-е изд. — М.: Вильямс , 2006. — 103 с.

240. Хамханова Д. Н. Исследование качества алгоритмов обработки квалиметрической информации : Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.11.15. - СПб., 2002. – 24 с.

241. Хассан Г. Проектирование систем реального времени, параллельных и распределенных приложений / Гома Хассан. – М.: ДМК, 2002. – 704 с.

242. Цымбал Д.А. Многоканальная нейросетевая модель системы компьютерного зрения для задач текстурной сегментации: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.18. – Великий Новгород, 2005. – 21 с.

243. Чаплыгин А.А. Метод и устройство визуализации пространственно распределенных образов со сложными топологическими портретами: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.05. - Курск, 2005. – 24 с.

244. Чернов Е.А. Обобщенное представление спектральных данных на плос-кости для решения задач их кластеризации и распознавания / Сб. науч. трудов IV Международной НТК «Современные информационные технологии в образовании, науке и промышленности» . - М.: МГУТУ, 2014. - С. 254-256.

245. Шаверин А. В. Автоматизация контроля показателей вкуса шоколадных изделий : Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06. – М., 2009. – 21 с.

246. Шаверин А.В., Благовещенская М.М., Благовещенский И.Г. Автоматизация контроля органолептических показателей качества шоколадных изделий // Сб. науч. трудов первой международной НПК «Планирование и обеспечение подготовки и переподготовки кадров для отраслей пищевой промышленности». - М.: ИК МГУПП, 2012. с. 209 – 212.

247. Шапиро, Л. Компьютерное зрение / Л. Шапиро , Дж. Стокман. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2006. – 752 с.

248. Шаулина Л. П. Контроль качества и безопасности пищевых продуктов и продовольственного сырья: Учеб. пособие / Л. П. Шаулина, Л. Н. Корсун. — Иркутск : Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2011. — 111 с.

249. Шторх Л.В. Совершенствование технологии хлеба для школьного пи-тания с применением автоматизированной системы контроля цвета изде-лий. : Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.01. и 05.13.06 – Воронеж, 2013. – 21 с.

250. Шторх Л.В. Совершенствование технологии хлеба для школьного питания с применением автоматизированной системы контроля цвета изделий. : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.01 и 05.13.06 / Шторх Лариса Валеоьевна. — Воронеж, 2013. — 242 с.

251. Черных И. Simulink: среда создания инженерных приложений – М.:Диалог-МИФИ, 2003. – 182 с.

252. Яковенко М. К. Разработка алгоритма распознавания сложных объектов на основе текстурной информации: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01. – СПб., 2003. – 24 с.

253. Яковлев А. В. Методы, модели и алгоритмы формирования и анализа изображений в системе контроля качества материалов и продукции ма-шиностроительного предприятия: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01 – М., 2003. – 18 с.

254. Яковлев А. В. Методы, модели и алгоритмы формирования и анализа изображений в системе контроля качества материалов и продукции машиностроительного предприятия: Дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01 / Прософт. – М., 2003. – 168 с.

255. Яне Б. Цифровая обработка изображений / Б. Яне. Пер. с англ. – М.: Техносфера. 2007. - 584 с.

256. Яньков В.Ю. и др. Решение прикладных задач в пакете Маткад / В.Ю. Яньков, А.А. Попов, Г.А. Бобырь. – М.: Издательство «Спутник+», 2011. – 368 с.

257. Ярославский Л.П. Введение в цифровую обработку изображений. - М.:Советское радио. - 1979. - 312 с.

258. Ясницкий Л. Н. Введение в искусственный интеллект / Л. Н. Ясницкий. – 1-е изд. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 176 с.

259. Agoston M.K. Computer Graphics and Geometric Modeling - Springer. - 2004. - 920 p.

260. Addison, P.S. The Illustrated Wavelet Transform Handbook / P.S. Addison – IOP Publishing Ltd, 2002. – 362 p.

261. Alamri, M. S., Abdellatif, A. M., & Shahzad, H. Effect of okra gum on the pasting, thermal, and viscous properties of rice and sorghum starches. Carbohydrate Polymers, 89(1), 2012. - pp. 199–207.

262. Ali S.M. Gap-Filling Restoration Methods for ETM+ Sensor Images / S.M. Ali, M.J. Mohammed Iraqi Journal of Science. 2013. - V.54, No.1. - pp.206-214.

263. Averiyanihin, A. E., Andronov, D. O., Melikyan, S. A., & Skalchenkov, I. I. Experimental study of speed parameters and resource intensity of programming languages for embedded sys-tems. Lecture Notes in Networks and Systems, 2021. pp. 17–33.

264. Ball G. H. ISODATA, a novel method of data analysis and pattern classifi-cation / G. H. Ball, D. J. Hall – STANFORD RESEARCH INST MENLO PARK CA. 2015.

265. Benediktsson J. Neural network approaches versus statistical methods in classification of multisource remote sensing data / J. Benediktsson, P. Swain, O. Ersoy // Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on. – 2020. -Vol. 28., №4. - pp. 540-552.

266. Blagoveshchenskaya M.M., Blagoveshchenskiy V.G., Rogelio S.C.M., Pet-ryakov A.N. Development of a neural network model for controlling the process of dosing bulk food masses // Journal of Physics: Conference Series. Cep. "Funda-mental and Applied Problems of Mechanics, FAPM 2019" 2020. - pp. 012027.

267. Blagoveshchenskiy I.G., Blagoveshchenskiy V.G., Besfamilnaya E.M., Su-merin V.A. Development of databases of intelligent expert systems for au-tomatic con-trol of

product quality indicators // Journal of Physics: Confer-ence Series. Cep. "Fundamental and Applied Problems of Mechanics, FAPM 2019" 2020. - P. 012019.
268. Blagoveschensky I.G., Petryakov A.N., Blagoveschensky V.G. Using depth map algorithms to improve the quality of object identification on digital ste-reo images // Journal of Physics: Conference Series. Cep. "International Meeting - Fundamental and Applied Problems of Mechanics" 2019. P. 012021.
269. Benosman, Ryad. Panoramic vision : Sensors, theory, a. Applications / Be-nosman Ryad, Sing Bing Kang, ed. – New York [etc.]Springer Cop. 2001. XXIV, 449 c.
270. Bottou L. Convergence Properties of the K-Means Algorithms / L. Bot-tou,Y. Bengio // Advances in Neural Information Processing Systems 7, [NIPS Conference, Denver, Colorado, USA, 1994]. - 1994. - pp. 585-592.
271. Brock, J., Nogueira, M. R., Zakrzevski, C., Corazza, F. de C., Corazza, M. L., & de Oliveira, J. V. Determinação experimental da viscosidade e condutividade térmica de óleos vegetais. Ciência e Tecnologia de Alimentos, 28(3), 2008. pp. 564–570
272. Daliakopoulos I.N. Tree Crown Detection on Multispectral VHR Satellite Imagery / I.N. Daliakopoulos, E.G. Grillakis, A.G. Koutroulis, I.K. Tsanis // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. - 2009. - V. 75., No. 10. - pp. 1201–1211.
273. Dhrisya, S., Mahadevan, V., Dinesh Karthick, V., Mohammed Ashik, S., & Dhanrajprabu, V. Title of the article. International Journal of Innovative Research in Engineering, 4(3), 2023. – pp. 402–405.
274. Fattal R. Upsampling via Imposed Edges Statistics // Proc. ACM SIG-GRAPH. - 2007. - V.26, N.3. - p. 95.
275. Fisher, R.A. The Use of Multiple Measurements in Taxonomic Problems / R.A. Fisher // Annals of Eugenics. – 1936 T.7. – pp. 179-188.
276. Garcia L.A., Arguesso F., Garcia A.I., Diaz M. Application of neural net-works for controlling and predicting quality parameters in beer fermentation – Journal of industrial microbiology, 2015. – pp. 152-158.

277. Gorban, A. N. Principal Manifolds for Data Visualisation and Dimension Reduction, Series: Lecture Notes in Computational Science and Engineering / A. N. Gorban, B. Kegl, D. Wunsch, A. Y. Zinovyev. – Berlin: Springer, 2017. – 340 p.
278. Gorohov, V.L. Cognitive multidimensional data visualization in analyzing and decision support systems / V.L. Gorohov, V.A. Evdokimov, V.V. Vitkovskiy // The Third international conference on cognitive science (ab-stracts volume 1). Moscow. 2018. – June 20–25. – 55 p.
279. Haidekker, M. A., Amy, G. T., Thomas, B., Hazel, Y. S., John, A. F., Emmanuel, T., & Marcos, I. A novel approach to blood plasma viscosity measurement using fluorescent molecular rotors. AJP-Heart Circ Physiol, 282(5). 2012. pp. 1609–1614.
280. Haykin S., Neural networks a Comprehensive Foundation, Second Edition – Prentice Hall, Inc. 2019. – pp. 242-248.
281. Kai Ding, & Liuqun Fan. AML-based web-twin visualization integration framework for DT-enabled and IIoT-driven manufacturing system under I4.0 workshop. Journal of Manufacturing Systems, 64, 2023. pp. 479–496.
282. Kohonen T., "Self-Organizing Maps", Springer, 2005.
283. Kohonen T., Huang T.S., Schroeder M.R. "Self-Organizing Maps"(Third edition), Springer, 2013. – pp. 369-378.
284. Komarinskiy, S. The Cognitive Visualization System Astronomical Data Analysis Software and Systems (ADASS) XVII / S. Komarinskiy, V. Vitkovskiy, V. Gorohov, D. Zakharevski – Editors: Argyle, Robert W.; Bunclark, Peter S.; Lewis, James R. London, UK 2018. – 394 p.
285. Kuo, F.-J., Sheng, C.-T., & Ting, C.-H. Evaluation of ultrasonic propagation to measure sugar content and viscosity of reconstituted orange juice. Journal of Food Engineering, 86(1), 2018. p. 84–90.
286. Mahnke W OPC Unified Architecture – Springer-Verlag, 2019. – pp. 122-128.
287. Legin A., Rudnitskaya A., Vlasov Yu. In: Integrated Analytical Systems, Comprehensive Analytical Chemistry. V. XXXIX. Ed. S. Alegret. Amster-dam: Elsevier, 2023. – pp. 151-157.

288. Newton D. E. Food Chemestry - Facts On File, Inc., 2017. – 218 p.

289. Sahasrabudheb, S. N., Rodriguez-Martinez, V., O'Meara, M., & Brian, E. F. Density, viscosity, and surface tension of five vegetable oils at elevated temperatures: Measurement and modeling. Inter-national Journal of Food Properties, 20(2), 2017. pp. 1965–1981.

290. Sun D.W. Modern Techniques for food authentication – Academic Press, 2008.

291Thirawong, N., Kennedy, R. A., & Sriamornsak, P. Viscometric study of pectin-mucin interaction and its mucoadhesive bond strength. Carbohydrate Polymers, 71(2), 2018. pp. 170–179.

292. Trion R.G. Cluster analysis – L.: Ann Arbor Edwards Bros.,2007.- 412 p.

293. Wilson C.I. Threapleton L. Application Of Artificial Intelligence For Predicting Beer Flavours From Chemical Analysis - European Brewery Convention, from the Proceedings of the 29th EBC Congress – Dublin, 2013. – pp. 342-349.

294. Wong M.A. A hybrid clustering method for identifying hign – JASA, 2002. – 164 p.

295. Xiaohong, S., & BeMiller, J. N. Effect of food gums on viscosities of starch suspensions during pasting. Carbohydrate Polymers, 50(1), 2022. pp. 7–18.

296. Jadaun, S., Singh, R. K., Kumar, R., & Agarwal, K. K. Analysis of cross platform application development over multiple devices using flutter & dart. International Journal of Recent Technology and Engineering, 12(1), 2023. pp. 33–38.

Приложение 1

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов диссертационной работы кандидата технических наук, доцента кафедры «Прикладная информатика» ФГБОУ ВО «МИРЭА - Российский технологический университет» Благовещенского В.Г. по теме «Методологические основы автоматизации контроля органолептических показателей качества кондитерской продукции и создание на их базе интеллектуальных систем управления»

Настоящий акт подтверждает, что основные результаты диссертационной работы Благовещенского Владислава Германовича, кандидата технических наук, доцента кафедры «Прикладная информатика» ФГБОУ ВО «МИРЭА - Российский технологический университет» по специальности 2.3.3 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами» на тему «Методологические основы автоматизации контроля органолептических показателей качества кондитерской продукции и создание на их базе интеллектуальных систем управления» использованы в практике деятельности Холдинга «Объединенные кондитеры».

Разработанная интеллектуальная автоматизированная система контроля и управления качеством кондитерской продукции, а также созданные методы, средства автоматического контроля в потоке, модели, алгоритмы, структуры, и программное обеспечение прошли апробацию и были переданы для внедрения на пищевые предприятия Холдинга «Объединенные кондитеры».

Заместитель Председателя Совета Директоров
ООО «Объединенные кондитеры»
Д.т.н., профессор Носенко С.М.

10.01.2024

Г. Москва, 115184
2-й Новокузнецкий пер., 13/15, стр. 1
8 495 730 69 02
E-mail assist@uniconf.ru

Приложение 2

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов диссертационной работы кандидата технических наук, доцента кафедры «Прикладная информатика» ФГБОУ ВО «МИРЭА - Российский технологический университет» Благовещенского В.Г. по теме «Методологические основы автоматизации контроля органолептических показателей качества кондитерской продукции и создание на их базе интеллектуальных систем управления»

Настоящий акт подтверждает, что основные результаты диссертационной работы Благовещенского Владислава Германовича, кандидата технических наук, доцента кафедры «Прикладная информатика» ФГБОУ ВО «МИРЭА - Российский технологический университет» по специальности 2.3.3 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами» на тему «Методологические основы автоматизации контроля органолептических показателей качества кондитерской продукции и создание на их базе интеллектуальных систем управления» использованы в практике деятельности Холдинга «Объединенные кондитеры».

Разработанная интеллектуальная автоматизированная система контроля и управления качеством кондитерской продукции, а также созданные методы, средства автоматического контроля в потоке, модели, алгоритмы, структуры, и программное обеспечение прошли апробацию и были переданы для внедрения на пищевые предприятия Холдинга «Объединенные кондитеры».

Компания «Объединенные кондитеры» является крупнейшим российским кондитерским холдингом объединяющем 16 предприятий по всей России, таких как Рот Фронт, Красный октябрь, Кондитерский концерн «Бабаевский» и др. (https://www.uniconf.ru/).

Заместитель директора департамента
технической политики и инноваций

УК «Объединенные кондитеры» _____ /А.М. Аднодворцев/

ОТДЕЛ КАДРОВ

Приложение 3

СПРАВКА

о результатах внедрения диссертационной работы к.т.н., доцента кафедры промышленной информатики ФГБОУ ВО «РТУ МИРЭА» Владислава Германовича Благовещенского по теме «Методологические основы автоматизации контроля органолептических показателей качества кондитерской продукции и создание на их базе интеллектуальных систем управления» на кондитерской фабрике ОАО «Рот Фронт» (передано автором на ОАО «Рот Фронт» на безвозмездной основе)

Настоящая справка подтверждает, что основные результаты диссертационной работы к.т.н., доцента кафедры промышленной информатики ФГБОУ ВО ««РТУ МИРЭА» Благовещенского Владислава Германовича на тему «Методологические основы автоматизации контроля органолептических показателей качества кондитерской продукции и создание на их базе интеллектуальных систем управления» использованы в производственной деятельности кондитерской фабрики ОАО «Рот Фронт» при производстве различных шоколадных конфет в виде:

1. Апробации разработанной функционально- структурной схемы влияния факторов исходного сырья, промежуточных операций на качество готовых кондитерских изделий в процессе приготовления конфет на всех стадиях линии производства.
2. Математических и ситуационных моделей объекта управления с учетом взаимосвязей технологических и режимных параметров в виде многосвязной системы.
3. Рекомендаций по выбору разработанных алгоритмов системы технического зрения для автоматизации контроля в потоке коэффициента извлечения примесей и внешнего вида какао бобов в процессе подготовки сырья к производству шоколадных конфет.
4. Апробации структурно- параметрических, математических, ситуационных и имитационных моделей влияния факторов исходного сырья, промежуточных операций на качество готовой продукции в процессе производства кондитерской продукции.
5. Рекомендаций по выбору разработанного программного обеспечения, реализующего предлагаемые алгоритмы и методы создания интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы, позволяющей менять используемые программные модули в зависимости от условий эксплуатации и типа выпускаемой халвы.

Использование указанных разработок позволит снизить издержки и затраты, связанные с технологическим циклом производства конфет при гарантированном качестве продукта, существенно снизить риск ошибок, обусловленных «человеческим фактором».

Ведущий инженер-программист отдела средств измерений и
автоматизированных систем управления технологическими процессами

ОАО «Рот Фронт» /М.В. Веселов/
05.09.2023г.

Контактные данные:

115184, Москва, 2-й Новокузнецкий пер., 13/15, стр. 1
Кондитерская фабрика ОАО «Рот Фронт»
Телефон: +7 (495) 221-91-46, вн. 28-85
Моб.: 8 (905) 766-57-19
Эл. почта: w4130@mail.ru

Приложение 4

1967

ТЕХНОПАРК
НИИВК

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ
ИМ. М. А. КАРЦЕВА»

ОРДЕН ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ 1986
БЛАГОДАРНОСТЬ ПРАВИТЕЛЬСТВА РОССИИ 2017
ПОЧЕТНАЯ ГРАМОТА МЭРА МОСКВЫ 2022
БЛАГОДАРНОСТЬ ПРЕЗИДЕНТА РОССИИ 2023

Акт

внедрения результатов диссертационной работы кандидата технических наук, доцента кафедры промышленной информатики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «МИРЭА - Российский технологический университет» (РТУ МИРЭА) Благовещенского Владислава Германовича на тему «Методологические основы автоматизации контроля органолептических показателей качества кондитерской продукции и создание на их базе интеллектуальных систем управления».

Настоящий акт подтверждает, что результаты диссертационной работы Благовещенского Владислава Германовича на тему: «Методологические основы автоматизации контроля органолептических показателей качества кондитерской продукции и создание на их базе интеллектуальных систем управления», а именно:

- математические модели, объектно-ориентированные методы и структуры данных, типовые программные модели анализа и обработки данных, поступающих с автономных датчиков автоматического контроля вязкости, консистенции, блеска поверхности изделий;
- информационное, математическое, алгоритмическое и программное обеспечение интеллектуальной автоматизированной системы контроля, мониторинга, прогнозирования и управления

использованы и внедрены в ходе выполнения работ АО «Научно- исследовательский институт вычислительных комплексов имени М.А. Карцева».

Генеральный директор А. В. Горшков

24.01.2024

АО «НИИВК ИМ. М. А. КАРЦЕВА»
+7 495 330 09 29
postoffice@niivk.ru
ул. Профсоюзная, дом 108, Москва, 117437
ОГРН 1037700128828
ИНН 7728032882

Приложение 5а

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский
технологический университет»
_____ д.т.н., проф.
А.В. Тимошенко
«__» _____ 2024 г.

АКТ

использования в учебном процессе результатов
докторской диссертации Благовещенского Владислава Германовича на тему
«Методологические основы автоматизации контроля органолептических
показателей качества кондитерской продукции и создание на их базе
интеллектуальных систем управления»

Результаты диссертационной работы В.Г. Благовещенского, представленной на соискание ученой степени доктора технических наук, нашли применение в учебном пособии «Моделирование технологических процессов. Ч. 1. / Благовещенский В.Г. — М.: РТУ МИРЭА, 2023, 79 с.». Оно используется в учебном процессе студентами образовательных программ по направлениям 09.03.01 "Информатика и вычислительная техника" и 15.03.04 "Автоматизация технологических процессов и производств". Результаты работы внедрены в рабочие программы дисциплин "Проектирование информационно-управляющих систем" и "Моделирование автоматизированных систем" на кафедре промышленной информатики Института искусственного интеллекта Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "МИРЭА – Российский технологический университет".

Зав. кафедрой
промышленной информатики
к.т.н., доцент _____ В.А. Холопов

Приложение 5б

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

«УТВЕРЖДАЮ»
Проректор по образовательной деятельности
Жукова Н.В.
12 января 2024 г.

АКТ О ВНЕДРЕНИИ

в учебный процесс кафедры «Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами» ФГБОУ ВО «МГУПП» материалов диссертационной работы Благовещенского Владислава Германовича по теме «Методологические основы автоматизации контроля органолептических показателей качества кондитерской продукции и создание на их базе интеллектуальных систем управления», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами

Мы, нижеподписавшиеся, заместитель директора института промышленной инженерии, информационных технологий и мехатроники, кандидат технических наук, доцент Назойкин Евгений Анатольевич, доктор физико-математических наук, профессор кафедры АСУБП Гданский Николай Иванович; заместитель заведующего кафедрой АСУБП по научной работе, доктор технических наук, профессор Каргин Виталий Александрович, заместитель заведующего кафедрой АСУБП по учебной работе Сумерин Вячеслав Андреевич, кандидат технических наук, доцент Крахмалев Олег Николаевич настоящим актом подтверждаем, что материалы диссертационной работы Благовещенского В.Г., связанные с разработкой и исследованием интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством кондитерской продукции используются в учебном процессе, в лекционных курсах, при проведении лабораторных и практических занятий, в курсовом проектировании, при выполнении ВКР кафедры «Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами» при подготовке 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», а именно:

- методика и этапы разработки интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством кондитерских изделий различной структуры с использованием методов имитационного моделирования, нейросетевых технологий, системы технического зрения, генетических алгоритмов и эффективного сочетания этих методов и технологий;
- принципы и методы построения, алгоритмы функционирования, архитектура интеллектуальной автоматизированной системы контроля, прогнозирования и управления качеством кондитерских масс с возможностью предвидеть получение брака и оперативно управлять ходом этих процессов;
- разработанный комплекс функционально - структурных схем влияния показателей качества исходного сырья, промежуточных операций на качество готовой кондитерской продукции на всех стадиях производства с указанием необходимых точек контроля и регулирования;
- структурирование основной цели и подцелей исследования, получение системной диаграммы решения проблемы создания интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством кондитерской продукции в процессе производства, создание концептуальной структурно- динамической модели этой системы;
- разработанный комплекс имитационных, структурно — параметрических, математических и ситуационных моделей основных этапов технологических процессов производства кондитерских изделий;
- разработанные методы, способы, алгоритмы, математическое и программное обеспечение создания виртуальных и интеллектуальных датчиков автоматического контроля в потоке органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции с использованием нейросетевых технологий и систем технического зрения;
- модернизированные функциональные схемы автоматизации всех этапов поточных линий производства кондитерских изделий с внесением в них новых решений автоматического контроля в потоке органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции с использованием интеллектуальных технологий.
- разработанные методы формирования, обучения и адаптации базы знаний (БЗ) для интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством кондитерской продукции;
- предложенный метод и способ контроля коэффициента извлечения примесей семян подсолнечника после процесса сепарирования с помощью системы технического зрения;
- разработанный алгоритм распознавания системой технического зрения внешнего вида семян подсолнечника с использованием нейросетевых техно-

логий;

- разработанная 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.

Данные разработки включены в разделы следующих дисциплин:

- Программирование и алгоритмизация
- Системы искусственного интеллекта
- Моделирование систем и процессов
- Программирование на языках высокого уровня
- Программное обеспечение систем управления
- Системный анализ и принятие решений
- Проектирование систем, основанных на знаниях
- Проектирование систем распознавания образов
- Проектирование баз данных и баз знаний
- Математическое моделирование систем и процессов
- Интеллектуальные технологии

Зам. директора института ПИИТиМ
кандидат техн. наук, доцент — Назойкин Е.А.

Доктор физ.-мат. наук, профессор
кафедры АСУБП — Гданский Н.И.

Зам. заведующего кафедрой АСУБП,
доктор техн. наук, профессор — Каргин В.А.

Зам. заведующего кафедрой АСУБП — Сумерин В.А.

К.т.н., доцент кафедры АСУБП — Крахмалев О.Н.

Приложение 6

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации базы данных

№ 2024625642

Органолептические показатели качества современной кондитерской продукции

Правообладатель: ***Благовещенский Владислав Германович (RU)***

Авторы: ***Благовещенский Владислав Германович (RU), Кротов Игорь Владимирович (RU), Благовещенский Иван Германович (RU)***

Заявка № **2024625359**
Дата поступления **16 ноября 2024 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре баз данных ***02 декабря 2024 г.***

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 0692e7c1a63000f154f240f670bca2026
Владелец Зубов Юрий Сергеевич
Действителен с 10.07.2024 по 03.10.2025

Ю.С. Зубов

Приложение 7

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации базы данных

№ 2024626158

Реологические показатели качества современной кондитерской продукции

Правообладатели: ***Благовещенский Владислав Германович (RU), Благовещенский Иван Германович (RU), Кротов Игорь Владимирович (RU)***

Авторы: ***Благовещенский Владислав Германович (RU), Благовещенский Иван Германович (RU), Кротов Игорь Владимирович (RU)***

Заявка № **2024625798**
Дата поступления **29 ноября 2024 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре баз данных ***19 декабря 2024 г.***

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 0692e7c1a6300bf54f240f670bca2026
Владелец Зубов Юрий Сергеевич
Действителен с 10.07.2024 по 03.10.2025

Ю.С. Зубов

Приложение 8

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2025619028

Программа мониторинга извлечения примесей при сепарировании семян подсолнечника

Правообладатели: ***Благовещенский Владислав Германович (RU), Благовещенский Иван Германович (RU), Кротов Игорь Владимирович (RU)***

Авторы: ***Благовещенский Владислав Германович (RU), Благовещенский Иван Германович (RU), Кротов Игорь Владимирович (RU)***

Заявка № **2025616939**
Дата поступления **27 марта 2025 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ ***14 апреля 2025 г.***

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 0692e761a63005f54f240f670bcc2026
Владелец Зубов Юрий Сергеевич
Действителен с 10.07.2024 по 03.10.2025

Ю.С. Зубов

Приложение 9

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2025613322

Конструктор внешнего вида и формы кондитерских изделий

Правообладатели: ***Благовещенский Владислав Германович (RU), Благовещенский Иван Германович (RU), Кротов Игорь Владимирович (RU)***

Авторы: ***Благовещенский Владислав Германович (RU), Благовещенский Иван Германович (RU), Кротов Игорь Владимирович (RU)***

Заявка № **2025611139**
Дата поступления **24 января 2025 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ ***11 февраля 2025 г.***

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 0692e7c1a6300b154f240f670bca2026
Владелец: Зубов Юрий Сергеевич
Действителен с 10.07.2024 по 03.10.2025

Ю.С. Зубов

Приложение 10

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2025661081

Модуль расчета угла естественного откоса

Правообладатели: ***Благовещенский Владислав Германович (RU), Благовещенский Иван Германович (RU), Кротов Игорь Владимирович (RU)***

Авторы: ***Благовещенский Владислав Германович (RU), Благовещенский Иван Германович (RU), Кротов Игорь Владимирович (RU)***

Заявка № **2025618862**
Дата поступления **12 апреля 2025 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ ***29 апреля 2025 г.***

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 0692e7c1ab300bf54f240f670bca2026
Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 10.07.2024 по 03.10.2025

Ю.С. Зубов

Приложение 11



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2770415

Способ и устройство для Фурье-анализа жидких светопропускающих сред

Патентообладатель: ***Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Московский государственный университет пищевых производств" (RU)***

Авторы: ***Дроханов Алексей Никифорович (RU), Благовещенский Владислав Германович (RU), Краснов Андрей Евгеньевич (RU), Назойкин Евгений Анатольевич (RU)***

Заявка № **2021101580**
Приоритет изобретения **26 января 2021 г.**
Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации **15 апреля 2022 г.**
Срок действия исключительного права
на изобретение истекает **26 января 2041 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

Приложение 12

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2025614754

Модуль расчета консистенции с фиксированным таймингом

Правообладатели: ***Благовещенский Владислав Германович (RU), Благовещенский Иван Германович (RU), Кротов Игорь Владимирович (RU)***

Авторы: ***Благовещенский Владислав Германович (RU), Благовещенский Иван Германович (RU), Кротов Игорь Владимирович (RU)***

Заявка № **2025613088**
Дата поступления **20 февраля 2025 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ ***25 февраля 2025 г.***

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 0692e7c1a6300bf54f240f670bca2026
Владелец Зубов Юрий Сергеевич
Действителен с 10.07.2024 по 03.10.2025

Ю.С. Зубов

Приложение 13

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2025615894

Модуль машинного зрения для расчета консистенции

Правообладатели: ***Благовещенский Владислав Германович (RU), Благовещенский Иван Германович (RU), Кротов Иван Владимирович (RU)***

Авторы: ***Благовещенский Владислав Германович (RU), Благовещенский Иван Германович (RU), Кротов Иван Владимирович (RU)***

Заявка № **2025614363**
Дата поступления **05 марта 2025 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ ***11 марта 2025 г.***

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 0692e7c1ab300bf54f240f670bca2026
Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 10.07.2024 по 03.10.2025

Ю.С. Зубов

Приложение 14

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2025682461

Программный модуль расчета оценки вкуса кондитерских изделий на производстве

Правообладатели: ***Благовещенский Владислав Германович (RU), Благовещенский Иван Германович (RU), Кротов Игорь Владимирович (RU), Зеленова Екатерина Николаевна (RU)***

Авторы: ***Благовещенский Владислав Германович (RU), Благовещенский Иван Германович (RU), Кротов Игорь Владимирович (RU), Зеленова Екатерина Николаевна (RU)***

Заявка № **2025681278**
Дата поступления **09 июля 2025 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ ***22 августа 2025 г.***

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 0692e7c1a6300bf54f2401670bca2026
Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 10.07.2024 по 03.10.2025

Ю.С. Зубов

Приложение 15

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2025666321

Программа для оценки цвета кондитерских изделий

Правообладатели: ***Благовещенский Владислав Германович (RU), Благовещенский Иван Германович (RU), Кротов Игорь Владимирович (RU)***

Авторы: ***Благовещенский Владислав Германович (RU), Благовещенский Иван Германович (RU), Кротов Игорь Владимирович (RU)***

Заявка № **2025664650**
Дата поступления **03 июня 2025 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ ***25 июня 2025 г.***

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 0692e7c1a6300bf54f240f670bca2026
Владелец Зубов Юрий Сергеевич
Действителен с 10.07.2024 по 03.10.2025

Ю.С. Зубов

Приложение 16

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2024613819

Микроспектр. Модуль 2

Правообладатель: ***Акционерное общество "Научно-исследовательский институт вычислительных комплексов имени М. А. Карцева" (RU)***

Авторы: ***Благовещенский Владислав Германович (RU), Васильев Михаил Вадимович (RU), Горшков Алексей Владиславович (RU), Дементьев Виктор Геннадьевич (RU), Кузьмина Анна Александровна (RU), Моор Александр Филиппович (RU)***

Заявка № **2024612865**

Дата поступления **15 февраля 2024 г.**

Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ ***15 февраля 2024 г.***

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

Приложение 17



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2025666321

Программа для оценки цвета кондитерских изделий

Правообладатели: ***Благовещенский Владислав Германович (RU), Благовещенский Иван Германович (RU), Кротов Игорь Владимирович (RU)***

Авторы: ***Благовещенский Владислав Германович (RU), Благовещенский Иван Германович (RU), Кротов Игорь Владимирович (RU)***

Заявка № **2025664650**
Дата поступления **03 июня 2025 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ ***25 июня 2025 г.***

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

Приложение 18

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2025662616

Модуль расчета вязкости

Правообладатели: ***Благовещенский Владислав Германович (RU), Благовещенский Иван Германович (RU), Кротов Игорь Владимирович (RU)***

Авторы: ***Благовещенский Владислав Германович (RU), Благовещенский Иван Германович (RU), Кротов Игорь Владимирович (RU)***



Заявка № **2025660744**

Дата поступления **30 апреля 2025 г.**

Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ ***22 мая 2025 г.***

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 0692e7c1ac300bf54f240f670bca2026
Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 10.07.2024 по 03.10.2025

Ю.С. Зубов