

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

На правах рукописи

БЛАГОВЕЩЕНСКИЙ ВЛАДИСЛАВ GERMAHOVИЧ

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

Специальность 2.3.3 – Автоматизация и управление
технологическими процессами и
производствами

Диссертация
на соискание ученой степени
доктора технических наук

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

Москва – 2024

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	11
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ (ТП) ПРОИЗВОДСТВА КОНДИТЕРСКОЙ ПРОДУКЦИИ. ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ	25
1.1. Выбор наиболее типичных ТП производства кондитерской продукции.....	25
1.2. Рассмотрение процессов приготовления конфет	27
1.2.1. Процесс приготовления шоколада.....	27
1.2.2. Процесс приготовления помадных и пралиновых конфет	33
1.2.3. Процесс приготовления сбивных конфет.....	36
1.2.4. Процесс приготовления халвы	42
1.2.5. Процесс приготовления мармелада	50
1.2.6. Процесс приготовления карамели.....	54
1.2.7. Процесс приготовления зефира.....	58
1.2.8. Процесс приготовления козинак	62
1.2.9. Процесс приготовления драже	65
1.2.10. Процесс приготовления ириса.....	68
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 конфет	75
1.5. Системный анализ и формулирование проблемы	77
1.5.1. Разработка структуры целей.....	77
1.5.2. Создание системной диаграммы решения проблемы	82
1.6. Разработка стратегической карты и критериев управления.....	87
1.7. Выводы по 1 главе	90
1.8. Задачи исследования	92

ГЛАВА 2. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ, АЛГОРИТМОВ И ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ АСУ КАЧЕСТВОМ КОНДИТЕРСКОЙ ПРОДУКЦИИ	93
2.1. Проблемы управления технологическими процессами производства кондитерских изделий и пути их преодоления.....	93
2.2. Оценка возможностей практического применения различных классических методов, алгоритмов и классов автоматизированных систем для управления ТП производством кондитерской продукции	94
2.3. Анализ особенностей использования методов искусственного интеллекта в решении задач автоматизации контроля и управления качеством производства кондитерской продукции	96
2.3.1. Общая характеристика методов искусственного интеллекта	96
2.3.2. Интеллектуальные информационные системы как важнейшее направление искусственного интеллекта. Особенности. Признаки. Функции. Специфика использования	103
2.3.3. Перспективы использования интеллектуальных технологий и систем в решении задач интеллектуализации кондитерской промышленности	107
2.3.4. Анализ возможности интеллектуализации системы контроля и управления качеством производства кондитерской продукции.....	118
2.4. Выводы по 2 главе.	119
ГЛАВА 3. АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ В ПОТОКЕ ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА КОНДИТЕРСКОЙ ПРОДУКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МЕТОДОВ И ТЕХНОЛОГИЙ	121
3.1. Современное состояние методов и систем контроля и управления качеством продукции на промышленных предприятиях.....	121
3.1.1 Понятие качество продукции	121

3.1.2. Современное состояние систем контроля и управления качеством продукции на промышленных предприятиях.....	122
3.1.3. Управление производством кондитерской продукции.....	124
3.1.4. Анализ существующих методов, способов и средств контроля органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий в процессе производства кондитерской продукции.....	127
3.2. Выбор наиболее важных органолептических показателей качества кондитерской продукции, подлежащих автоматическому контролю в потоке на каждой стадии производства.....	132
3.3. Оценка возможности использования новых инструментальных методов и средств контроля в интеллектуальных системах управления качеством кондитерской продукции.....	132
3.4. Автоматизация контроля в потоке основных органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий.....	139
3.4.1. Постановка задачи автоматического контроля в потоке органолептических показателей качества кондитерской продукции в процессе производства.....	139
3.4.2. Автоматизация контроля коэффициента извлечения примесей в сырье (на примере семян подсолнечника).....	140
3.4.3. Автоматизация контроля в потоке внешнего вида сырья (на примере семян подсолнечника) с использованием гибридных методов и технологий.....	155
3.4.4. Автоматизация контроля угла естественного откоса.....	163
3.4.5. Автоматизация определение блеска поверхности кондитерских изделий.....	167
3.4.6. Автоматизация контроля в потоке формы кондитерских изделий (на примере пористого шоколада и карамели).....	172
3.4.7. Автоматизация контроля консистенции и текстуры кондитерских масс.....	178
3.4.8. Автоматизация контроля вкуса.....	188
3.4.9. Автоматизация контроля запаха.....	192
3.4.10. Автоматизация контроля цвета.....	197

3.4.11. Автоматизация контроля вязкости кондитерских масс	199
3.5. Выводы по 3 главе	213
ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ, МАТЕМАТИЧЕСКИХ, СИТУАЦИОННЫХ И ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА КОНДИТЕРСКОЙ ПРОДУКЦИИ	216
4.1. Структурно – параметрические и математические модели процессов производства кондитерской продукции	216
4.1.1. Методология построения структурно – параметрических моделей (СПМ) основных стадий производства кондитерской продукции	217
4.1.2. Структурно – параметрические и математические модели (СПММ) основных стадий ТП производства пралиновых и помадных конфет	217
4.1.3. Структурно – параметрические и математические модели (СПММ) основных стадий ТП производства халвы	223
4.1.4. Структурно – параметрические и математические модели (СПММ) ТП производства шоколадных масс	233
4.1.5. Структурно – параметрические и математические модели ТП производства сбивных конфет	250
4.1.6. Структурно – параметрические и математические модели (СПММ) ТП производства мармелада	259
4.1.7. Структурно – параметрические и математические модели ТП производства карамели	266
4.1.8. Структурно – параметрические и математические модели производства зефира	272
4.1.9. Структурно – параметрические и математические модели ТП производства козинак	278
4.1.10. Структурно – параметрические и математические модели ТП производства драже	284

4.1.11. Структурно – параметрические и математические модели ТП производства ириса	289
4.2. Ситуационное моделирование ТП производства кондитерской продукции	293
4.2.1. Анализ ТП производства кондитерской продукции с использованием матрицы экспертных оценок влияния входных параметров на показатели качества на всех стадиях производства	293
4.2.2. Анализ ТП производства помадных конфет с использованием матрицы экспертных оценок влияния входных параметров на показатели качества этих конфет на всех стадиях производства	295
4.2.3. Ситуационное моделирование ТП производства помадных конфет	299
4.2.4. Анализ ТП производства халвы с использованием матрицы экспертных оценок влияния входных параметров на показатели качества халвы на всех стадиях производства	300
4.2.5. Ситуационное моделирование ТП производства халвы	306
4.2.6. Ситуационное моделирование ТП производства шоколада	307
4.2.7. Ситуационное моделирование ТП производства сбивных конфет	309
4.2.8. Ситуационное моделирование ТП производства мармелада	312
4.2.9. Ситуационное моделирование ТП производства карамели	314
4.2.10. Ситуационное моделирование ТП производства зефира	316
4.2.11. Ситуационное моделирование ТП производства козинак	317
4.2.12. Ситуационное моделирование ТП производства драже	319
4.2.13. Ситуационное моделирование ТП производства ириса	321
4.3. Мультиагентное имитационное моделирование процесса производства кондитерской продукции с использованием ПО AnyLogic	322
4.3.1. Обоснование необходимости имитационного моделирования производства кондитерской продукции	323
4.3.2. Мультиагентная имитационная модель процесса производства халвы с использованием ПО AnyLogic	324

4.3.3. Мультиагентная имитационная модель процесса производства мармелада с использованием ПО AnyLogic.....	329
4.4. Выводы по 4 главе	336
ГЛАВА 5. МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОИЗВОДСТВА КОНДИТЕРСКОЙ ПРОДУКЦИИ НА ОСНОВЕ ИХ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ, МАТЕМАТИЧЕСКИХ, СИТУАЦИОННЫХ И ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ.....	338
5.1. Понятие цифровых двойников	338
5.2. Анализ проблемы разработки и использования в кондитерской промышленности цифровых двойников	339
5.3. Основные подходы к созданию и использованию цифровых двойников производства кондитерских изделий.....	341
5.3.1. Место цифровых двойников в цифровизации кондитерской промышленности	341
5.3.2. Цифровой двойник изделия: технологии разработки	345
5.3.3. Анализ подходов к созданию цифровых двойников производства кондитерских изделий.....	350
5.3.4. Примеры применения цифровых двойников на разных этапах жизненного цикла производства кондитерских изделий.....	356
5.4. Научная база создания цифровых двойников производства кондитерских изделий	358
5.5. Применение разработанного комплекса инструментальных средств для создания ЦД процессов производства кондитерской продукции (на примере линии производства шоколада).....	365
5.5.1. Постановка задачи	365
5.5.2. Функциональные возможности цифрового двойника	366
5.5.3. База для описания цифрового двойника в рамках единой технологической системы управления производством шоколада с использованием формата AUTOMATIONML	369

5.5.4. Применение разработанного комплекса инструментальных средств для создания ЦД процессов производства шоколада	374
ГЛАВА 6. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ВИРТУАЛЬНОЙ, ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТЕЙ И КАСТОМИЗАЦИИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ НОВОЙ ЛИНЕЙКИ ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННОЙ КОНДИТЕРСКОЙ ПРОДУКЦИИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ.....	383
6.1. Современное использование технологии кастомизации в отраслях кондитерской промышленности	383
6.2. Основные этапы кастомизации формы, вкуса и цвета кондитерских изделий	387
6.3. Разработка цифровых трехмерных моделей конфет.....	389
6.4. Разработка платформы для кастомизации формы, цвета и вкуса кондитерских изделий.....	394
6.5. Создание базы данных для разработки облачной платформы хранения и редактирования трехмерных моделей конфет.....	402
6.6. Разработка облачной платформы для хранения и редактирования трехмерных моделей конфет	412
6.7. Создание Web-сайта с возможностью кастомизировать кондитерское изделие.....	421
6.8. Создание информативного Web- приложения для продвижения кондитерских изделий.....	436
6.9. Тенденции кастомизации кондитерской индустрии в будущем.....	437
6.10. Выводы по 6 главе	439
ГЛАВА 7. ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ КОНДИТЕРСКОЙ ПРОДУКЦИИ	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 обеспечения ИАСКиУК кондитерской продукции.....	450
7.4. Программирование логического контроллера для создания ИАСУК кондитерской продукции (на примере подсолнечной халвы).....	453
7.5. Основные этапы методики принятия решений о качестве готовых изделий в процессе производства кондитерской продукции.....	455
7.6. Подбор технических средств для реализации ИАСКиУК кондитерской продукции.....	456
7.7. Исследование и модернизация ФСА поточных линий производства кондитерской продукции	461
7.7.1. ФСА основных ТП производства помадных глазированных конфет	461
7.7.2. ФСА основных ТП производства подсолнечной халвы	466
7.7.3. ФСА производства мармелада	472
7.7.4. ФСА ТП производства глазированного суфле	472
7.7.5. ФСА основных ТП производства шоколада	474
7.8. Выводы по 7 главе	475
ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ.....	477
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	480
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	481
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 – Акт внедрения НТП на кондитерских фабриках ООО «Объединенные кондитеры».....	500

ПРИЛОЖЕНИЕ 2	– Акт внедрения НТП на кондитерских фабриках ООО «Объединенные кондитеры».....	501
ПРИЛОЖЕНИЕ 3	– Акт внедрения научно технической продукции на ОАО «Рот Фронт».....	502
ПРИЛОЖЕНИЕ 4	– Акт внедрения научно технической продукции на ОА «Научно- исследовательский институт вычислительных комплексов имени М.А. Карцева».....	504
ПРИЛОЖЕНИЕ 5	– Акт внедрения в учебный процесс результатов диссертационной работы в ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ».....	505

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 [2].

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 [20, 108].

Кондитерские изделия в России выпускают свыше 1 тыс. фабрик, суммарный объем продукции которых превышает 3 млн. тонн в год [29, 121, 122].

Основная задача управления качеством кондитерской продукции – обеспечить стабильность производственных процессов, не допустить появления брака и других несоответствий выпускаемых кондитерских изделий установленным требованиям [18 - 20]. 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 и др.). Оценку этих свойств в настоящее время осуществляют в лабораториях кондитерских предприятий органолептическим путем эксперты-дегустаторы. Такой контроль не позволяет реализовать функции по автоматическому управлению качеством готовой кондитерской продукции и имеет фактор субъективности [136].

Анализ состояния автоматизации технологических процессов кондитерских производств показывает, что на действующих предприятиях из-за частой

смены ассортимента кондитерских изделий, многомерности, больших объемов производимой продукции, нелинейности, многоканальности производственной информации отсутствуют эффективные современные автоматические системы контроля и управления качеством производимых изделий. Из-за отмеченной сложности производства кондитерской продукции и неоднородности поступающего сырья, существует огромное количество различных комбинаций факторов, влияющих на ход этих процессов, но при этом весьма ограниченное число их оптимальных вариантов. Поиск и обоснование таких сочетаний способствует в дальнейшем на базе полученных результатов перейти к разработке интеллектуальных систем контроля, прогнозирования и управления, позволяющих осуществлять своевременное автоматическое изменение технологических параметров процесса и режимов работы используемого оборудования [20, 36, 54].

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

Разработка и внедрение такого комплекса 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 уменьшить потери рабочего времени и снизить уровень брака готовой продукции [5, 26, 31, 53, 71].

Благодаря научным и техническим достижениям последних десятилетий, методы автоматизации стали более доступными и эффективными. На базе работ известных ученых: А.Н. Австриевских, С.И. Апанасенко, В.К. Битюкова, М.М. Благовещенской, И.Г. Благовещенского, А.В. Бунеева, М.В. Жирова, А.Ф. Его-

рова, Ю.А. Ивашкина, С.А. Красникова, А.Е. Краснова, О.П. Красули, В.В. Митина, К.С. Мышенкова, М.А. Никитиной, С.В. Николаевой, Н.В. Остапчука, С.Д. Савостина, А.В. Татарина, В.Я. Черных, Е.Д. Чертова, А.В. Шаверина и др. [2, 6, 6 – 8, 17, 20, 25, 61, 45, 54, 118, 126, 142 – 144, 214, 240, 243 и др.], накоплен значительный объем информации по автоматизации технологических процессов пищевых производств с применением искусственного интеллекта.

В результате проведенного обзора и анализа научной литературы, посвященной этой проблеме установлено, что структурно-параметрическим и оптимизационным моделированием пищевых масс занимались, М.М. Благовещенская, И.Г. Благовещенский, Ю.А. Ивашкин, Е.А. Назойкин, М.А. Никитина, А.В. Татарин [18 – 20, 60 – 69, 126 – 129]. И.Г. Благовещенским, М.А. Никитиной и Е.А. Назойкиным были защищены диссертации в области математического моделирования пищевых производств. Исследования в этой области проводили В.К. Битюков, Д. Рутковская, Я.В. Иванов, С.А. Красников, А.Е. Краснов, А.Н. Петряков, Т.В. Подлегаева, А. И. Галушкин, А. Б. Барский, А.П. Олефирова, А.П. Олссон, А. Н. Горбань и другие [17, 86, 93, 123 – 125, 214, 142 - 144, 190, 192, 199, 200, 203 и др.]. 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).

В настоящей работе был учтен и проработан опыт предыдущих исследований, использованы данные, полученные авторами указанных трудов.

В то же время, изученное нами состояние автоматизации ТП производства кондитерской продукции, показало, что большинство авторов не занимались автоматизацией комплекса органолептических показателей качества.

Выпуск конфет – это многоэтапный процесс, автоматизация которого осуществить достаточно трудно в силу специфических свойств данной продукции. Многие важные проблемы автоматизации, например, в области процессов сепарирования до сих пор не рассматривались. При создании интеллектуальных автоматизированных систем контроля и управления качеством кондитерской продукции разнообразного состояния в процессе ее производства, остаются актуальными следующие проблемы:

- отсутствие методов и подходов использования интеллектуальных технологий для автоматического контроля в потоке основных органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции;
- отсутствие методик применения нейросетевых регуляторов для управления качеством кондитерской продукции по органолептическим показателям;
- отсутствие создания интеллектуальной автоматизированной системы 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 задача разработки методов и средств повышения эффективности производства кондитерской продукции различной структуры (твердой, желеобразной, аморфной и др.). Выбраны и обоснованы наиболее информативные органолептические показатели контроля качества сырья и полуфабрикатов (запах, консистенция, форма полученного изделия, структура, консистенция, состояние поверхности готовых конфет, блеск, вязкость, коэффициент извлечения примеси и угол естественного откоса и другие).

Трудность решения задач автоматизации контроля в потоке данных органолептических показателей заключается в том, что кондитерские массы представляют собой сложные и неоднородные многокомпонентные смеси, состояние которых зависит от многих факторов (состава сырья, режимов работы оборудования, физико – химических, структурно-механических свойств и т.д.). Все это

вызывает частые колебания параметров процессов приготовления многокомпонентных кондитерских масс, что отражается на качестве готовой продукции [9]. Существующие в настоящее время методы оценки качества этих кондитерских изделий субъективны и далеки от совершенства, поскольку эта оценка осуществляется органолептическим путем.

Успешное решение задач автоматического контроля органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции возможно лишь при создании и внедрении в производственный процесс автоматизированных интеллектуальных систем контроля и управления с использованием искусственных нейронных сетей (ИНС), систем компьютерного зрения (СКЗ), цифровых двойников, виртуальной и дополненной реальности, мультиагентных технологий моделирования и других интеллектуальных технологий [4, 6, 7, 15, 20, 75, 112, 144, 145, 253].

Создание такой системы позволит: непрерывно, в потоке 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 готовой продукции [20, 112, 164].

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

Таким образом, на основании вышеизложенного можно оценить тему диссертационной работы как актуальную, 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», «15. Теоретические основы, методы и алгоритмы диагностирования (определения работоспособности, поиск неисправностей и прогнозирования), АСУП, АСТПП и др.».

Цель работы и задачи исследования.

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

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

1. Систематизация и анализ, как объектов автоматизации, разных по структуре и видов ТП производства кондитерской продукции с целью оценки протекающих в них информационных процессов; выявления органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции, контролируемых на каждой стадии производства; обобщения и анализа факторов, нарушающих устойчивое функционирование системы, и разработки нового подхода к автоматизации контроля и управления качеством этой продукции с использованием интеллектуальных технологий.

2. Системный анализ методов, алгоритмов и технологий искусственного интеллекта для обоснования их использования при разработке интеллектуальных автоматизированных систем контроля и управления качеством кондитерской продукции

3. Разработка инструментария для автоматического контроля в потоке органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых кондитерских изделий, с учетом областей их использования и применяемых интеллектуальных методов и технологий.

4. Создание структурно-параметрических, математических, ситуационных и имитационных моделей ТП производства кондитерской продукции различной структуры для моделирования, прогнозирования и управления качеством этой продукции на всех стадиях производства.

5. Разработка методики создания и использования цифровых двойников в процессах производства кондитерских изделий, позволяющих прогнозировать ход этих процессов и определять необходимые при этом режимы работы используемого оборудования.

6. Создание новой линейки оригинальной персонализированной кондитерской продукции нового поколения на основе использования технологий виртуальной, дополненной реальностей и кастомизации.

7. Разработка типовой интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кондитерской продукции.

8. Проведение практической апробации разработанных моделей, алгоритмов, способов и результатов моделирования, а также разработанных принципов и методов создания цифровых двойников, новой линейки оригинальной кондитерской продукции, типовой интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством этой продукции на действующих кондитерских предприятиях, с целью повышения эффективности работы линий этих производств.

9. Внедрение результатов диссертационной работы в учебный процесс и научные исследования.

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

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

Методы и средства исследований. Поставленные в работе задачи решены с использованием методологических и математических основ построения интеллектуальных систем поддержки и принятия решений; методики построения реляционных баз данных и баз знаний; теории нейронных сетей; теории цифровой обработки изображений; теории кастомизации; общих принципов математического, имитационного и мультиагентного моделирования; элементов теории искусственного интеллекта; методов системного анализа и математической статистики. Численная и графическая обработка результатов исследований производилась с применением MatLab и Anylogic.

Научная новизна и теоретическая значимость диссертации заключаются в разработке перспективного научного направления в области автоматизации ТП кондитерских производств, связанного с широким использованием методов и техно-

логий искусственного интеллекта для кондитерской продукции различной структуры, созданием новых интеллектуальных средств автоматического контроля в режиме реального времени органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых кондитерских изделий, современных решений в управлении качеством.

1. Разработаны методологические основы системного анализа подготовленности ТП производства кондитерской продукции к внедрению интеллектуальных автоматизированных систем контроля и управления органолептическими показателями качества кондитерских изделий.
2. Получены функционально - структурные схемы (ФСС) влияния показателей исходного сырья и промежуточных операций на формирование качества кондитерской продукции разной структуры на всех стадиях производства с указанием необходимых точек контроля и регулирования,
3. Разработана методология создания нового поколения интеллектуальных средств автоматизации контроля в режиме реального времени основных органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции.
4. Разработана концепция положений методов и способов, отражающих создание виртуальных модулей автоматического контроля вкуса и запаха кондитерских масс с использованием нейросетевых технологий.
5. Разработана методология создания интеллектуального модуля автоматического контроля цвета кондитерских масс с использованием системы компьютерного зрения и нейросетевых технологий.
6. Разработан комплекс структурно – параметрических, математических, ситуационных и имитационных моделей процессов производства кондитерской продукции, являющийся основой создания интеллектуальной автоматизированной системы контроля, прогнозирования и управления качеством этой продукции.
7. Разработана методика создания цифровых моделей производства кондитерской продукции.

8. Разработан алгоритм создания новой линейки персонализированной кондитерской продукции нового поколения. Приведены основные этапы кастомизации формы, вкуса и цвета создаваемых оригинальных кондитерских изделий. Представлена методика процесса разработки цифровых трехмерных моделей конфет, помогающая определить ключевые элементы дизайна нового изделия, такие как форма, размер, текстура и цвет конечного продукта.
9. Предложена методика формирования базы знаний интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кондитерской продукции в процессе ее производства.
10. Представлена модификация функциональных схем автоматизации основных этапов процессов производства кондитерской продукции разной структуры с включением в эти схемы разработанных интеллектуальных средств автоматического контроля органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий.
11. Разработано методическое обеспечение построения интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кондитерской продукции с функциями прогнозирования, поддержки и принятия решений.
12. Разработана концепция создания типовой интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кондитерской продукции.

Практическая значимость результатов исследования.

В результате проведенных исследований продемонстрированы возможности осуществления автоматического контроля в режиме реального времени органолептических показателей качества с последующим созданием на их базе интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кондитерской продукции.

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

1. Разработка нового поколения интеллектуальных средств контроля в режиме реального времени важнейших органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции.
2. Создание и использование цифровых моделей двойников при проектировании и эксплуатации ТП производства кондитерских изделий.
3. Разработка новой линейки оригинальной персонализированной кондитерской продукции с использованием технологий виртуальной, дополненной реальности и кастомизации.
4. Создание базы знаний ИАСКиУК кондитерской продукции.
5. Разработка эффективного алгоритмического, математического и программного обеспечения ИАСКиУК кондитерской продукции с функциями прогнозирования, поддержки и принятия решений.
6. Разработка технических решений для реализации ИАСКиУК кондитерской продукции в процессе производства. Подбор технических средств для реализации интеллектуальной системы.

Разработанные методы, модели, алгоритмы, способы, структуры и программы прошли апробацию и были внедрены в кондитерском цехе ОАО «Рот-Фронт» Холдинга «Объединенные кондитеры», а также на других кондитерских фабриках Холдинга ООО «Объединенные кондитеры»; на ОА «Научно-исследовательский институт вычислительных комплексов имени М.А. Карцева», в различных профильных фирмах, что подтверждается соответствующими актами внедрения научно-технической продукции (Приложения 1 – 4).

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

Положения, выносимые на защиту

1. Методологические основы системного анализа подготовленности ТП производства кондитерской продукции разной структуры к внедрению интеллектуальных автоматизированных систем контроля и управления.
2. Методология разработки структурно- параметрических, математических, ситуационных и имитационных моделей основных этапов ТП производства кондитерской продукции с различной структурой, являющихся основой разработки ИАСКиУК, позволяющих прогнозировать ход этих процессов и определять необходимые при этом режимы работы используемого оборудования.
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 производства кондитерских изделий для их использования при проектировании и эксплуатации ТП производства кондитерских изделий.
5. Методологические основы создания новой линейки оригинальной персонализированной кондитерской продукции с использованием технологий виртуальной, дополненной реальностей и кастомизации.
6. Научно- обоснованные подходы к разработке комплекса методов, алгоритмов, моделей и программ, обеспечивающих работу созданной нейросетевой интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством

кондитерской продукции с интеллектуальными функциями прогнозирования, поддержки и принятия решений.

7. Модификация функциональных схем автоматизации основных этапов процессов производства кондитерской продукции разной структуры с включением в эти схемы разработанных интеллектуальных средств автоматического контроля органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий..

8. Концепция создания интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кондитерской продукции.

9. Технические решения для реализации интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством кондитерской продукции в процессе производства. Подбор технических средств для реализации этой интеллектуальной системы.

Апробация работы.

Основные положения диссертационной работы были обсуждены и одобрены на: конференции " 21 век: фундаментальная наука и технологии " (« 21 century: fundamental science and technology V») ,10-11 ноября 2016 г., North Charleston, USA ; конференции «Автоматизация и управление технологическими и бизнес – процессами пищевой промышленности», 18 – 20 мая 2016 г., МГУПП; V международной научно-практической конференции «21 век фундаментальная наука и технологии» («21 century: fundamental science and technology V») ,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; II международной научно-практической конференции «Цифровизация Агропромышленного комплекса»,

Тамбов. 2020; II международной специализированной конференции- выставке «Фабрика будущего: переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам для отраслей пищевой промышленности», МГУПП. 2020; «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; IV 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.

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 биотехнологический университет».

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

Структура и объем работы.

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

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

Первым этапом разработки интеллектуальной системы управления является анализ технологических процессов производства кондитерской продукции как объектов автоматизации.

Кондитерские изделия подразделяются на сахаристые и мучные [108, 121, 122]. Сахаристое кондитерское изделие - это кондитерское изделие с содержанием сахара не менее 20 %. К сахаристым кондитерским изделиям, в соответствии с ГОСТ Р 53041-2008, 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.

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, 146].

В последние несколько лет рынок кондитерской продукции стабильно развивается [170]. 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 [174, 181, 197, 214]. 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 лабораторными методами технологами экспертами.

Были проработаны схемы размещения необходимых точек контроля и регулирования технологических и режимных параметров процессов производства, что позволило перейти к следующему этапу разработки интеллектуальных автоматизированных систем прогнозирования и управления качеством получаемой кондитерской продукции.

Из всего многообразия процессов приготовления конфет были отобраны конфеты различной структуры и ассортимента: ТП производства шоколада, в том числе пористого; ТП производства глазированных помадных и пралиновых конфет; 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 всевозможные виды кондитерской продукции, значительно различающиеся агрегатным состоянием и свойствами по физическому состоянию сахара в них:

- в аморфном или твердом состоянии: леденцовая карамель, грильяж, ирисная масса (твердая или полутвердая), халва;
- в виде мелких кристалликов, которые находятся в насыщенном растворе сахарозы: помадные массы, ирис;
- в виде арганозолой: конфеты с фруктово-ягодной или ликерной начинкой;
- в виде арганозолой 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 [222].

1.2. Рассмотрение процессов приготовления конфет

1.2.1. Процесс приготовления шоколада

Производство шоколадных масс является одним из определяющих процессов приготовления самых разнообразных типов конфет [121]. Шоколад богат железом и магнием. 100-граммовая плитка шоколада содержит 70 – 80 % железа из 67% рекомендуемой суточной нормы его потребления и 58% магния.

На рисунке 1.1. представлена машинно-аппаратурная схема линии производства шоколада [10].

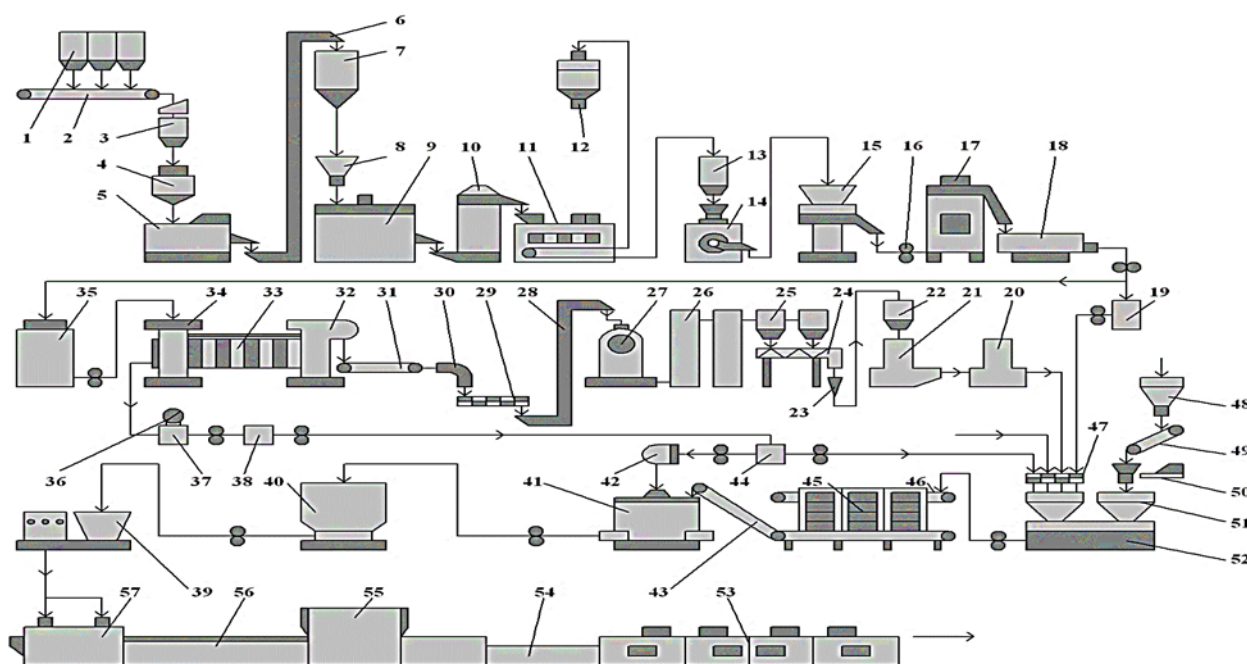


Рис. 1.1. Машинно-аппаратурная схема линии производства шоколада

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°C, но температура самих бобов должна

быть не выше 125°C. 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°C, 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. 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°C 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 по поступает в рабочие камеры 33 гидравлического пресса 32. Прессование ведут при температуре какао тертого 90... 95°C. 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°C 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 формирования шоколада, состоящий из отливочной машины 57, цепного конвейера с формами и охлаждающего аппарата 55. Отливочная машина дозирует 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.

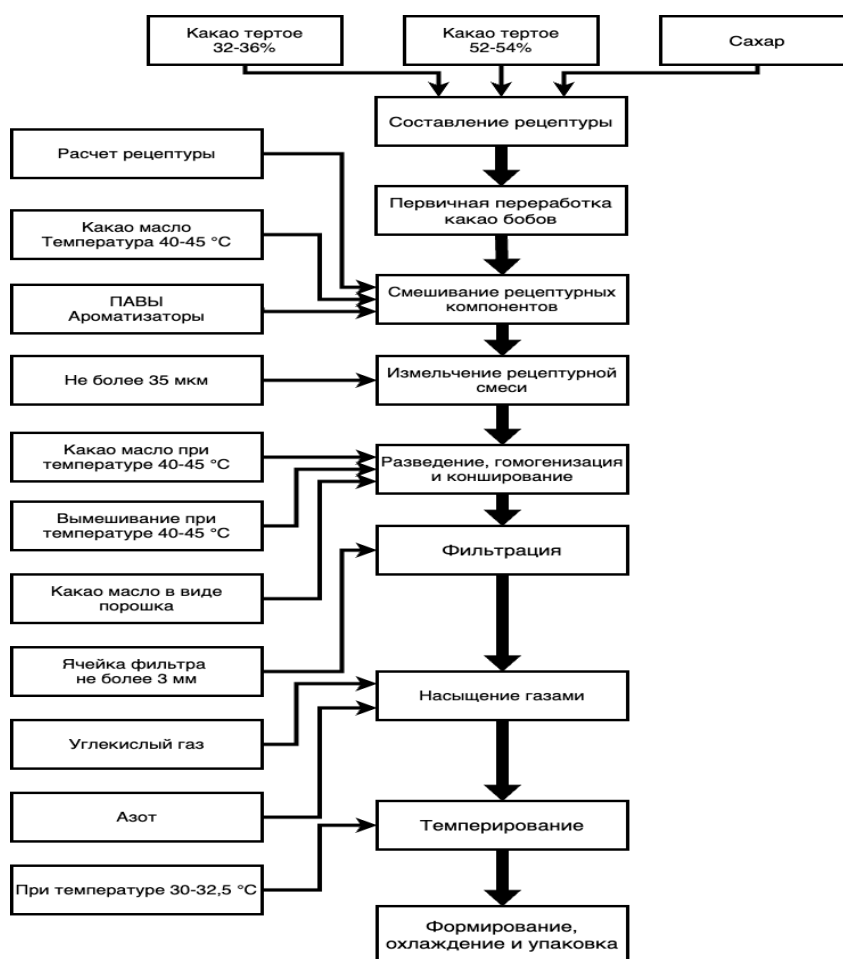


Рис. 1.2. Основные стадии процесса производства пористого шоколада.

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

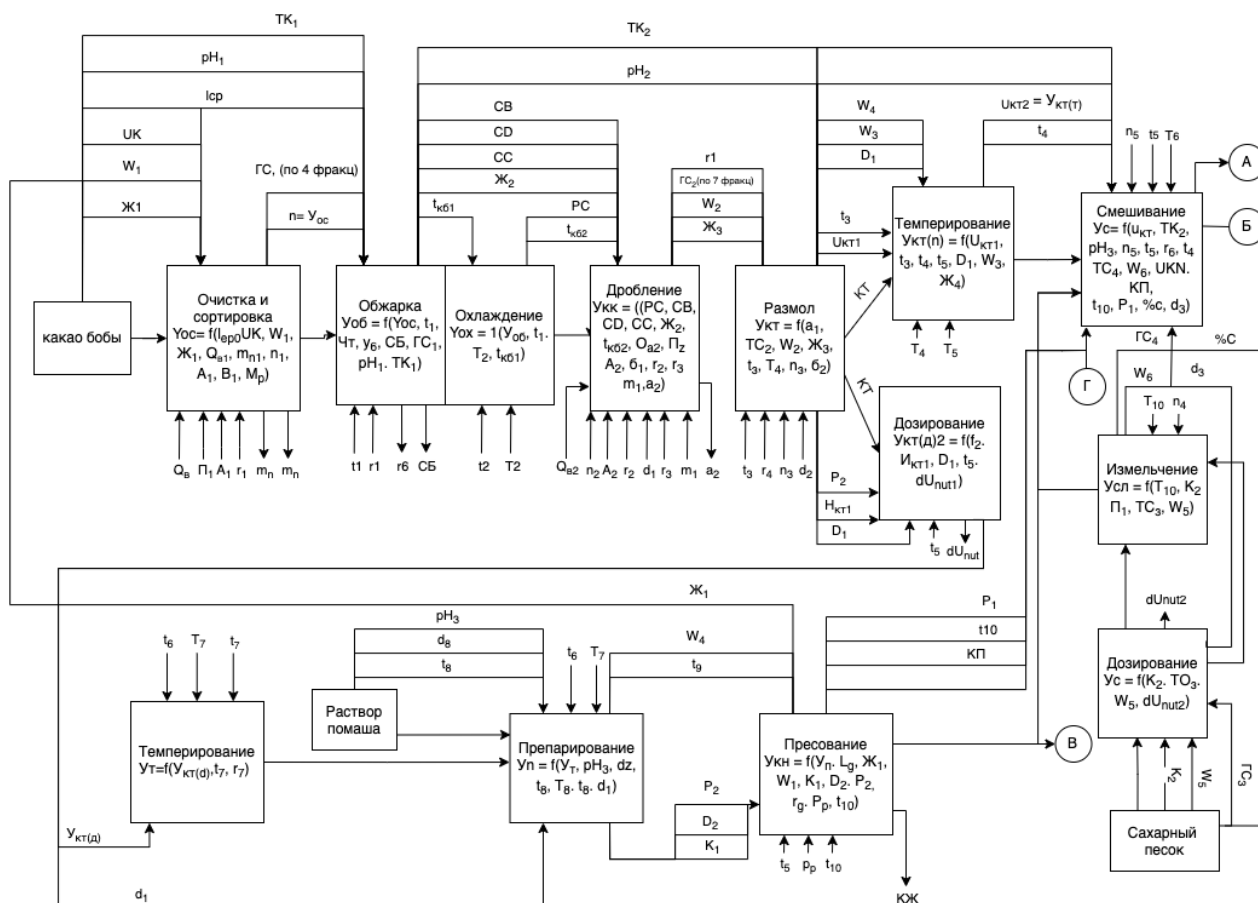


Рис.1.3. ФСС влияния показателей качества сырья и промежуточных операций, на качество готового шоколада

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 образцов шоколада) (рисунок 1.4).

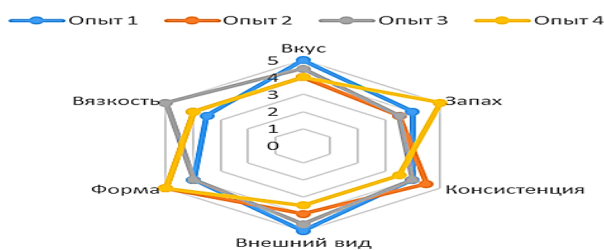


Рис. 1.4. Профилограмма органолептической оценки образцов шоколада.

Оценка возможности цифровой трансформации линии производства шоколадных масс

Началу работ по цифровой трансформации производства шоколада должен предшествовать всесторонний анализ процессов производства, позволяющий оценить точность 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 подробно описанный в наших статьях [4, 6 – 8, 15, 75, 87] показали перспективность цифровой трансформации ТП производства шоколада [193].

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).

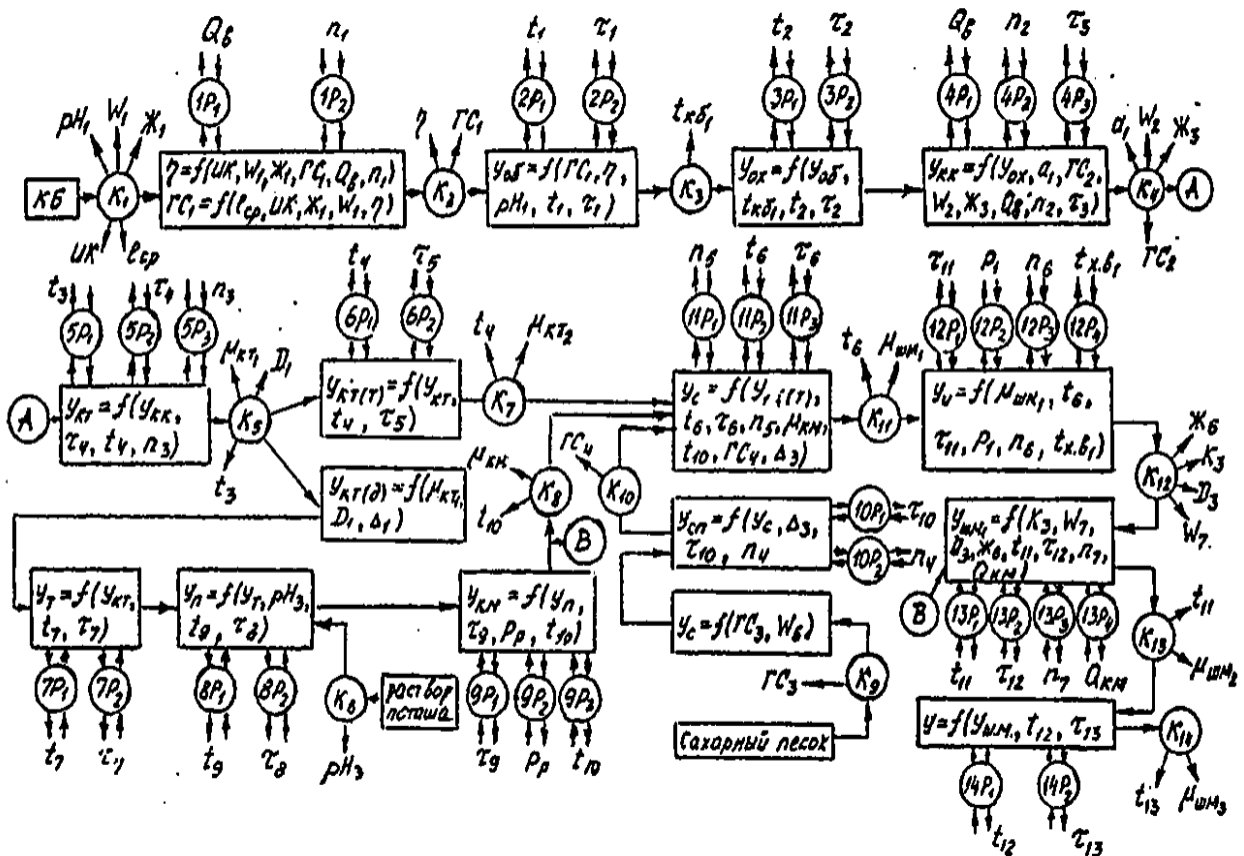


Рис. 1.5. Точки контроля и управления основными параметрами процесса приготовления шоколада

1.2.2. Процесс приготовления помадных и пралиновых конфет

Поточная технологическая линия приготовления помадных и пралиновых конфет показана на рисунке 1.6.

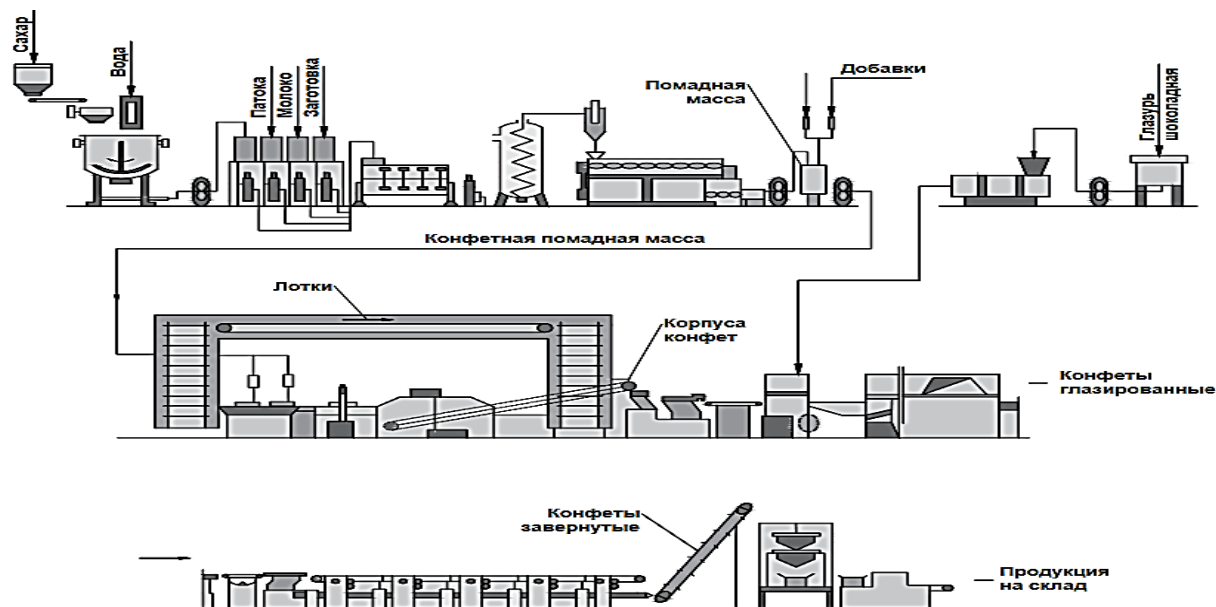


Рис. 1.6. Поточная технологическая линия приготовления помадных и пралиновых конфет

Данная поточная технологическая линия оборудована современными средствами автоматизации. Более подробно описание ТП производства глазированных помадных или пралиновых конфет приведены в наших работах [28, 65].

Основные этапы процесса приготовления глазированных конфет представлены на рисунке 1.7.

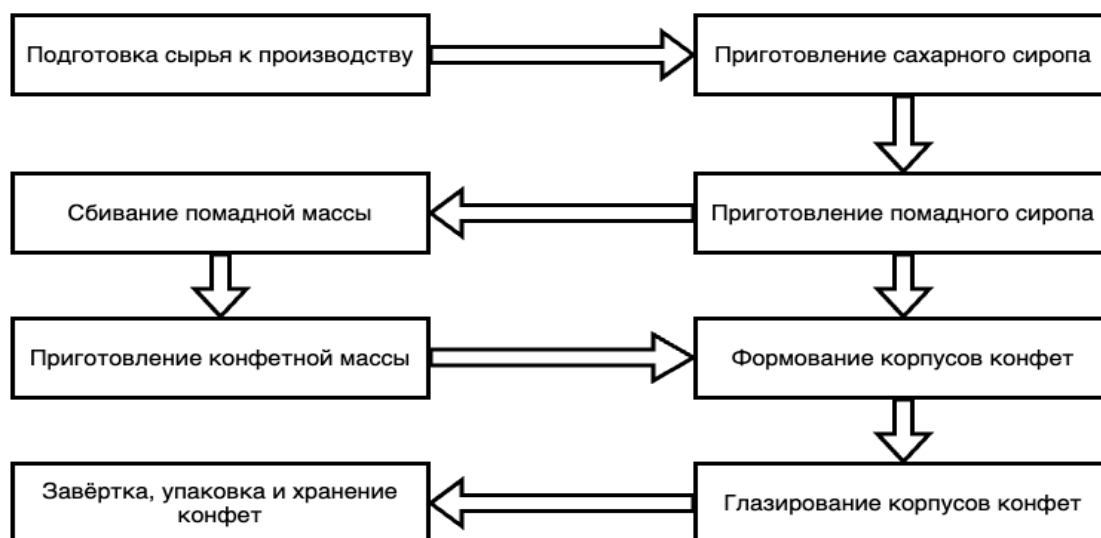


Рис. 1.7. Основные этапы процесса приготовления глазированных конфет

На каждом этапе производства глазированных помадных или пралинованных конфет контролируются органолептические показатели качества, которые должны соответствовать ГОСТу 4570-2014 «Конфеты. Общие технические условия». На рисунке 1.8. представлена профилограмма контролируемых в соответствии с ГОСТом органолептических показателей качества исследуемых образцов помадных и пралиновых конфет.

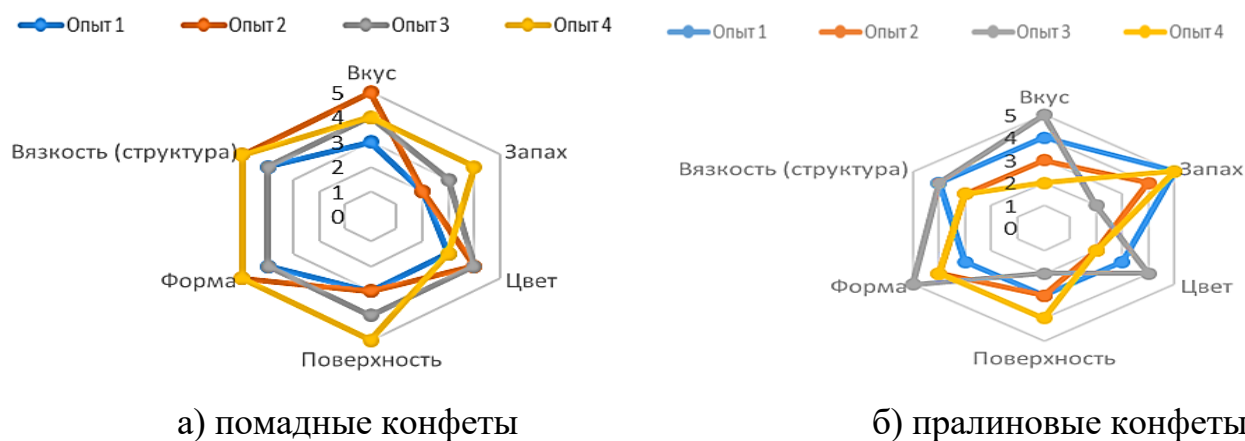


Рис. 1.8. Профилограмма органолептической оценки образцов конфет

Были проведены исследования и выявлены технологические и режимные параметры, влияющие на производство исследуемых конфет (рисунок 1.9). Анализ наиболее важных показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции, контролируемые на каждой стадии производства подробно приведен в наших статьях [133, 134].

Для оптимизации режимов работы технологического оборудования линий производства этих конфет необходима полная, всесторонняя, достоверная, своевременная и в то же время не избыточная информация именно об основных параметрах, оказывающих наибольшее влияние на качество приготавливаемой продукции. Для решения этой задачи был использован метод математического моделирования с применением теории графов, подробно описанный в наших статьях [32, 33]. Этот метод позволил определить показатели асимметричности $K_{ас}$, поточности $K_{пот.}$ и $K_{ск.}$

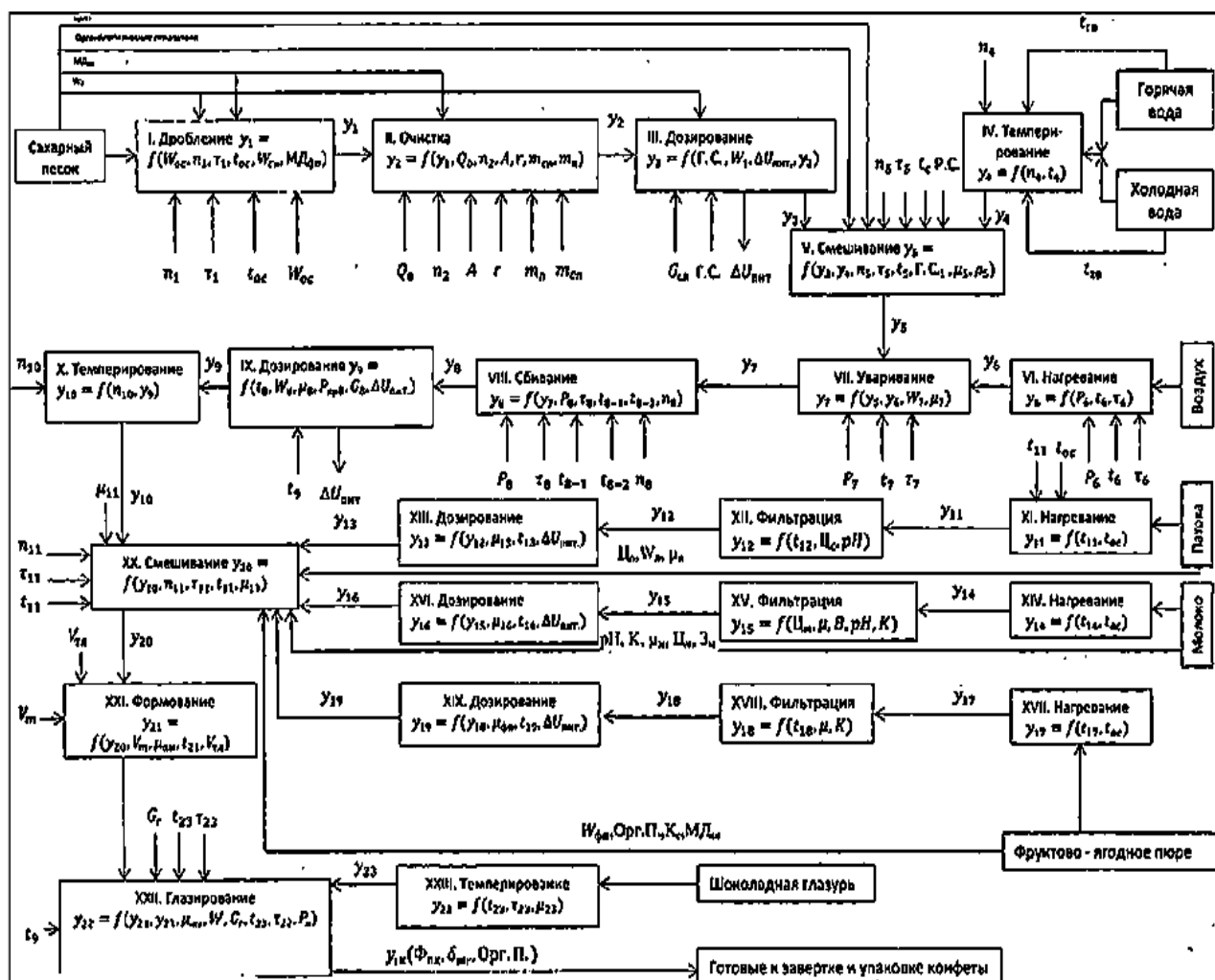


Рисунок 1.9. ФСС влияния факторов исходного сырья, промежуточных операций на качество готовых конфет на всех стадиях процесса производства

$$K_a = 0,1547; K_{\text{пот.}} = 0,8453 \text{ и } K_{\text{ск.}} = 0,3714 \quad (1.1)$$

Полученные результаты расчетов показали, что данная схема имеет коэффициенты поточности и собственных контуров $K_{\text{пот}} > K_{\text{пот.теор.}} = 0,655$ и $K_{\text{ск}} < K_{\text{ск.теор.}} = 0,500$, что позволяет сделать вывод о достаточно хорошей поточности и прогрессивности исследуемой схемы и перспективности цифровой трансформации ТП производства помадных или пралиновых глазированных конфет [193].

В соответствии с полученными результатами, была предложена ФСС исследуемого процесса производства глазированных помадных или пралиновых конфет с указанием необходимых точек контроля и регулирования (рисунок 1.10).

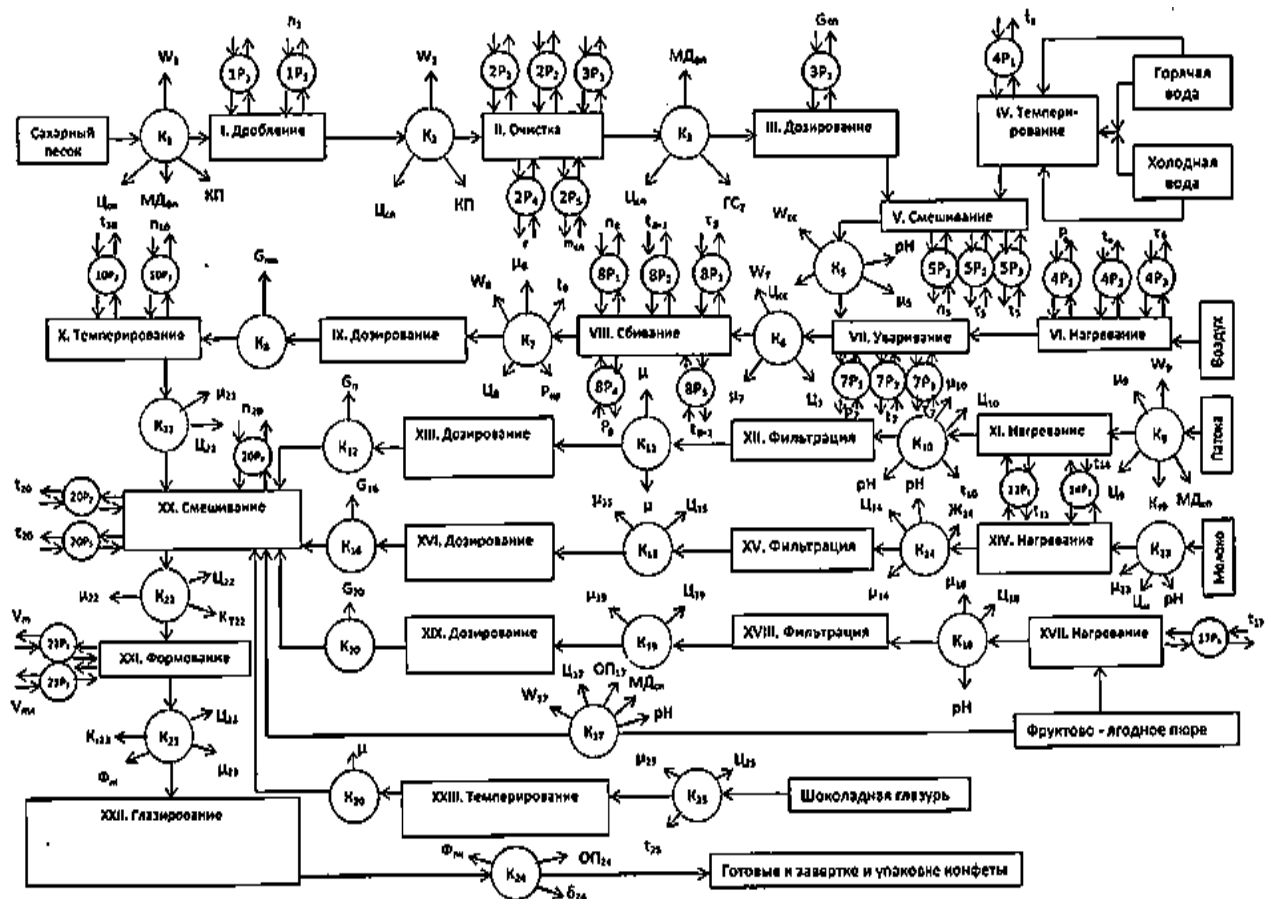


Рис. 1.10. Точки контроля и регулирования основных параметров процесса приготовления глазированных помадных и пралиновых конфет

1.2.3. Процесс приготовления сбивных конфет

В настоящее время в кондитерском 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 [226]. 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 агары («Суфле», «Птичье молоко» и др.) и на основе желатина. Такие массы обладают нежной кремообразной консистенцией и одновременно имеют пенообразную структуру. К тяжелым сбивным кондитерским массам относится «Нуга» [122,138].

В настоящее время для производства сбивных конфет применяют автоматизированные поточные линии. На рисунке 1.11. показана машинно- аппаратурная схема производства сбивных глазированных конфет типа суфле или птичье молоко на Воронежской кондитерской фабрике. 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; temperирующей ёмкости для глазури; дисковых ножей резки на полосы.

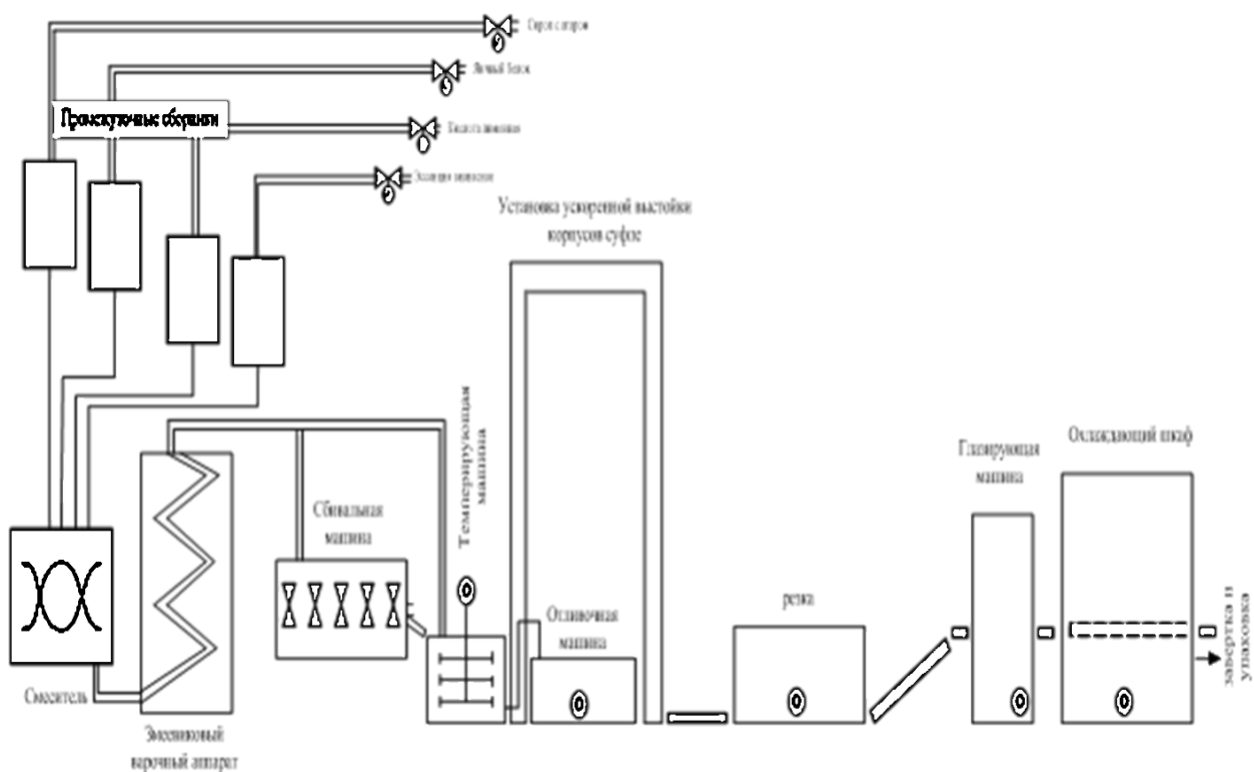


Рис. 1.11. Машинно- аппаратурная схема производства сбивных конфет.

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 транспортируются 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. На рисунке 1.12 представлена машинно-аппаратная схема производства глазированного суфле в 3D виде.

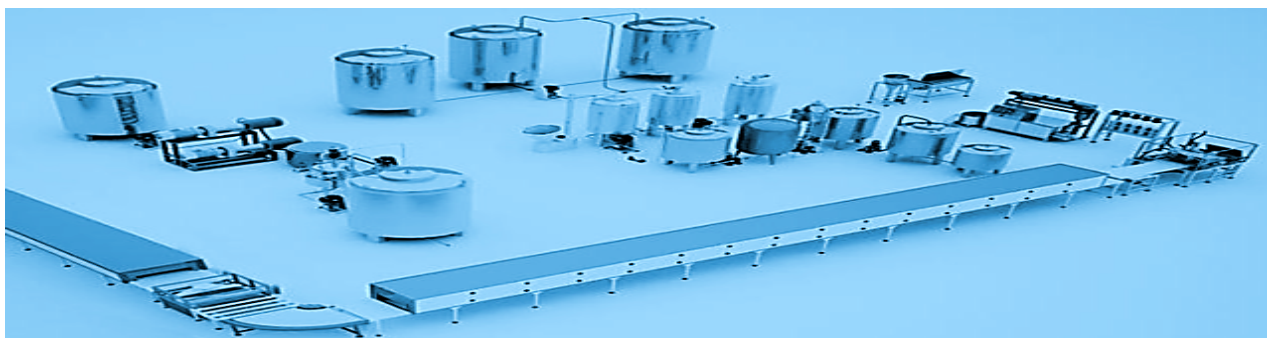


Рис. 1.12. Машинно-аппаратная схема производства суфле в 3D виде.

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 [11].

На рисунке 1.13. представлены основные операции производства сбивных конфет на показатели качества готовых изделий.

Требования, предъявляемые к качеству сбивных конфет

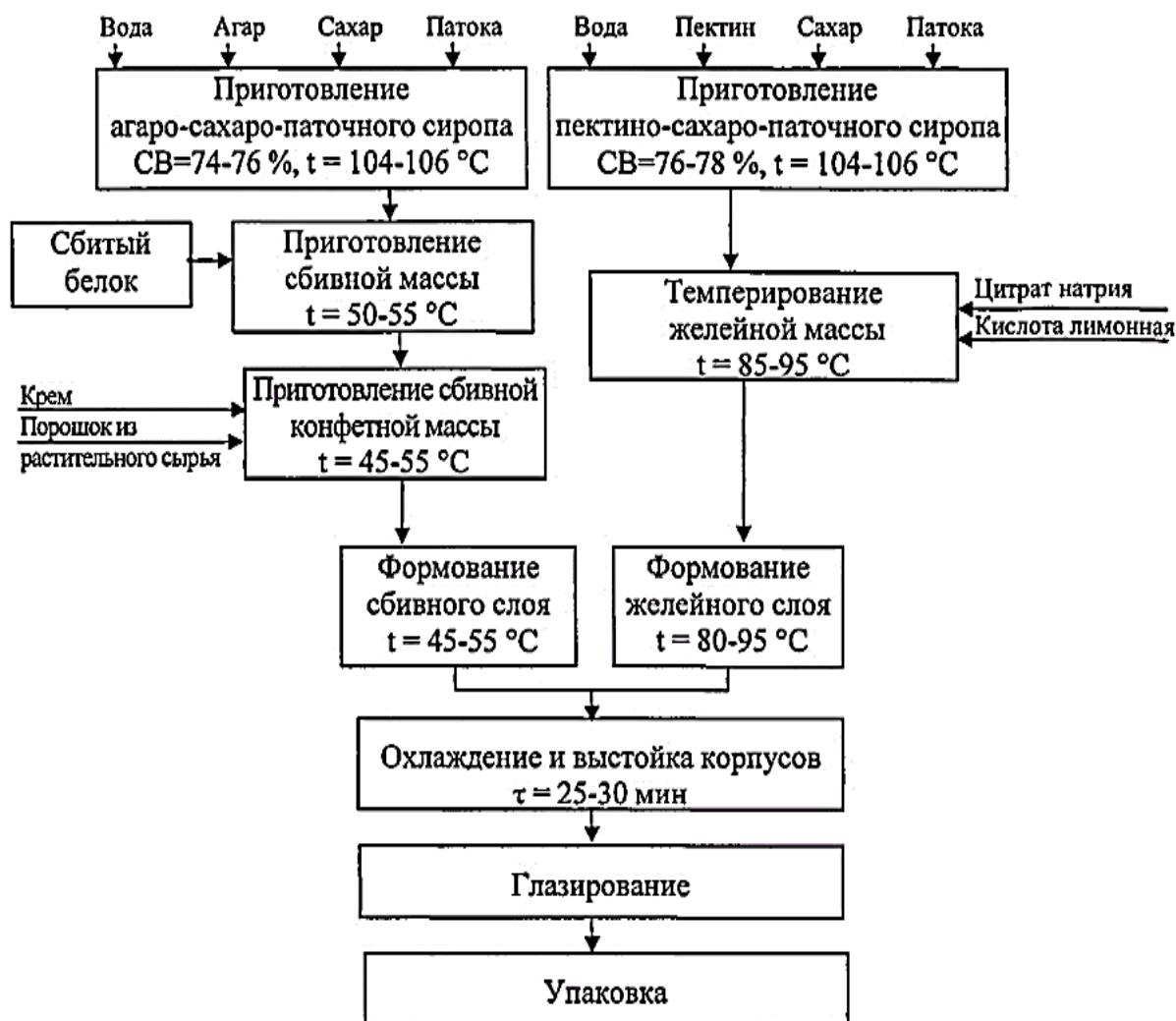


Рис. 1.13. Структурная схема влияния различных параметров хода ТП производства сбивных конфет на показатели качества готовых изделий.

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.

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 блестящая поверхность 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 1.14. представлена профилограмма исследуемых образцов конфет «Суфле» и «Птичье молоко».

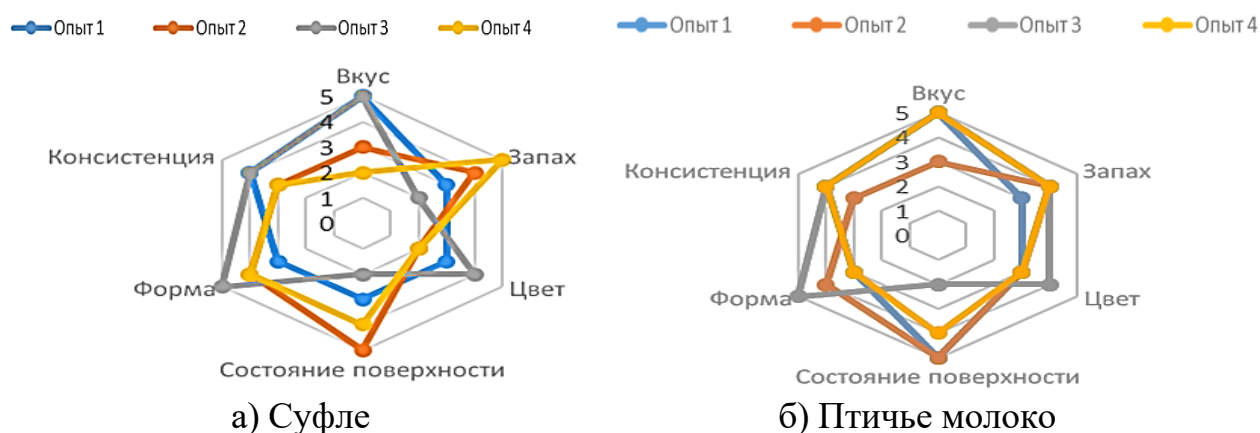


Рис. 1.14. Профилограмма органолептической оценки образцов сбивных конфет

К дефектам органолептических показателей суфле, в первую очередь, необходимо отнести дефекты вкуса и запаха. К ним относятся 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 из-за недостаточного перемешивания. К дефектам формы можно отнести трещины на лицевой стороне, деформацию (помятости, надломы), искривления граней и ребер [19].

Были рассчитаны показатели:

$$K_a = 0,1748; K_{\text{пот.}} = 0,8252 \text{ и } K_{\text{ск.}} = 0,4124, \quad (1.2)$$

анализ которых показал, что данная схема имеет коэффициенты поточности и собственных контуров $K_{\text{пот.}} > K_{\text{пот.теор.}} = 0,655$ и $K_{\text{ск.}} < K_{\text{ск.теор.}} = 0,500$, что позволяет сделать вывод о достаточно хорошей поточности и прогрессивности исследуемой схемы и перспективности цифровой трансформации ТП производства сбивных глазированных конфет [112].

На основании проведенного анализа ТП производства сбивных конфет как объекта автоматизации, исследования всех стадий этого производства, а также выявления основных органолептических показателей качества, технологических и режимных параметров была разработана функционально - структурная схема (ФСС) ТП производства глазированных сбивных конфет с указанием необходимых точек контроля и регулирования, представленная на рисунке 1.15.

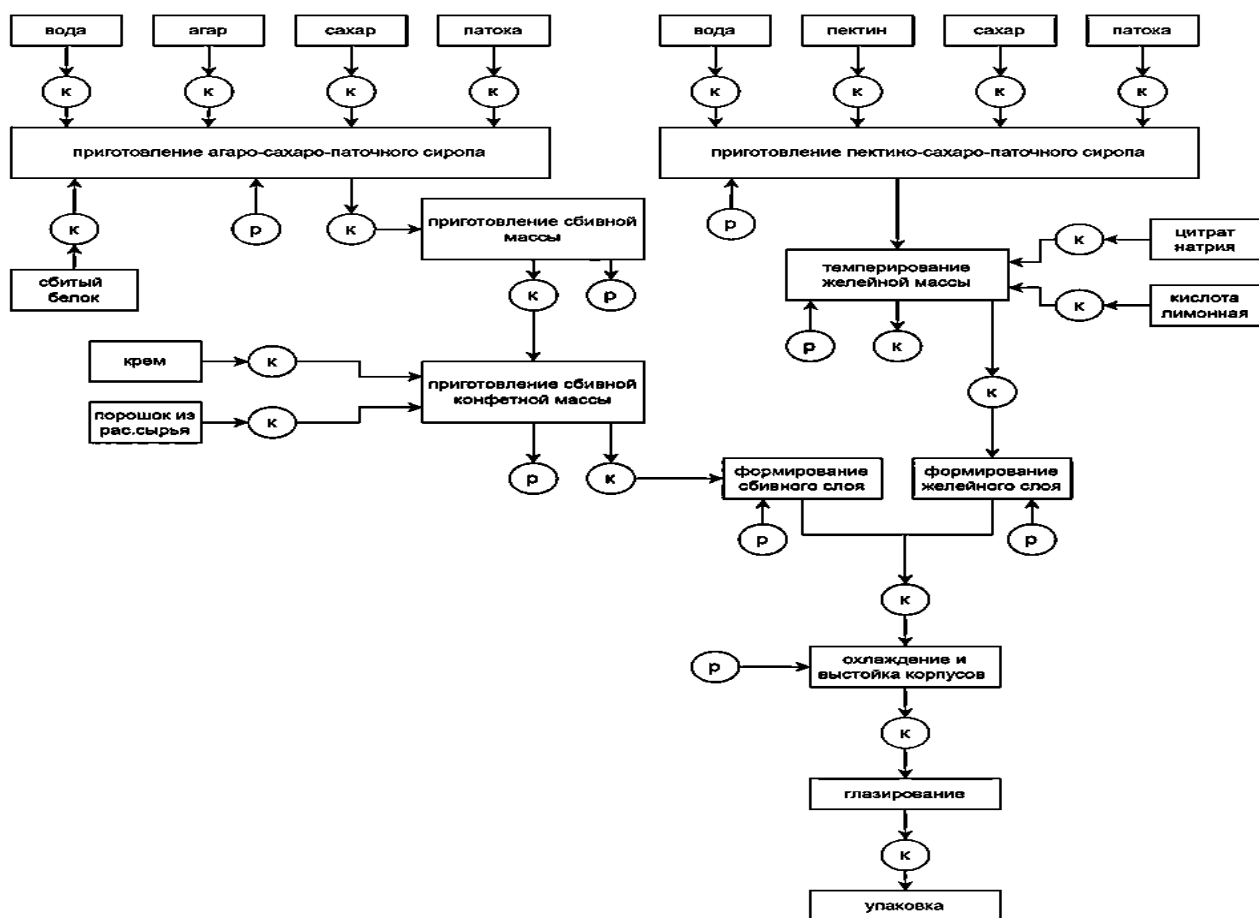


Рис. 1.15. Точки контроля и регулирования производства глазированных сбивных конфет

Таким образом сделан вывод о том, что группа сбивных кондитерских изделий имеет большие перспективы. Ассортимент таких конфет расширяется, создаются новые и разнообразные виды сбивных изделий. 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.

1.2.4. 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 [16, 19, 49].

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 1.16 представлена распространенная на кондитерских предприятиях машинно-аппаратурная схема линии производства подсолнечной халвы.

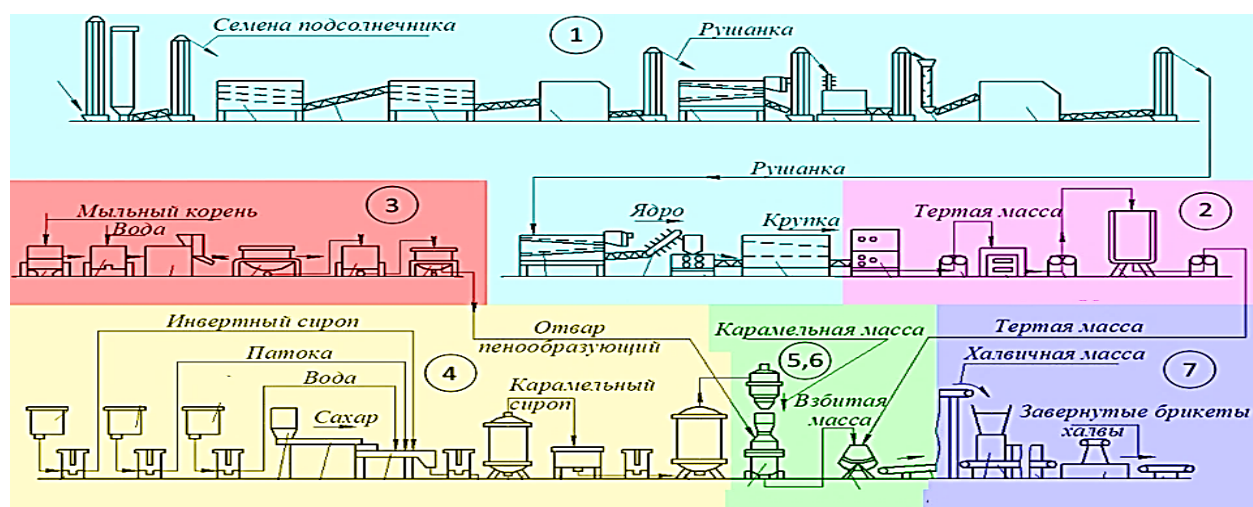


Рис. 1.16. Машино – аппаратурная схема линии производства халвы

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 охлаждающую машину, формуют и затем готовую халву пускают на упаковку [54].

Основные стадии технологического процесса производства подсолнечной халвы представлены на рисунке 1.17. Это: сепарирование семян подсолнечника и подготовка сырья к производству; приготовление сахарного сиропа; приготовление карамельного сиропа; взбивание карамельной массы; вымешивание халвы; формование, фасовка и упаковка.



Рис. 1.17. 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 халвы, подробно изложенная в нашей статье [29, 32].

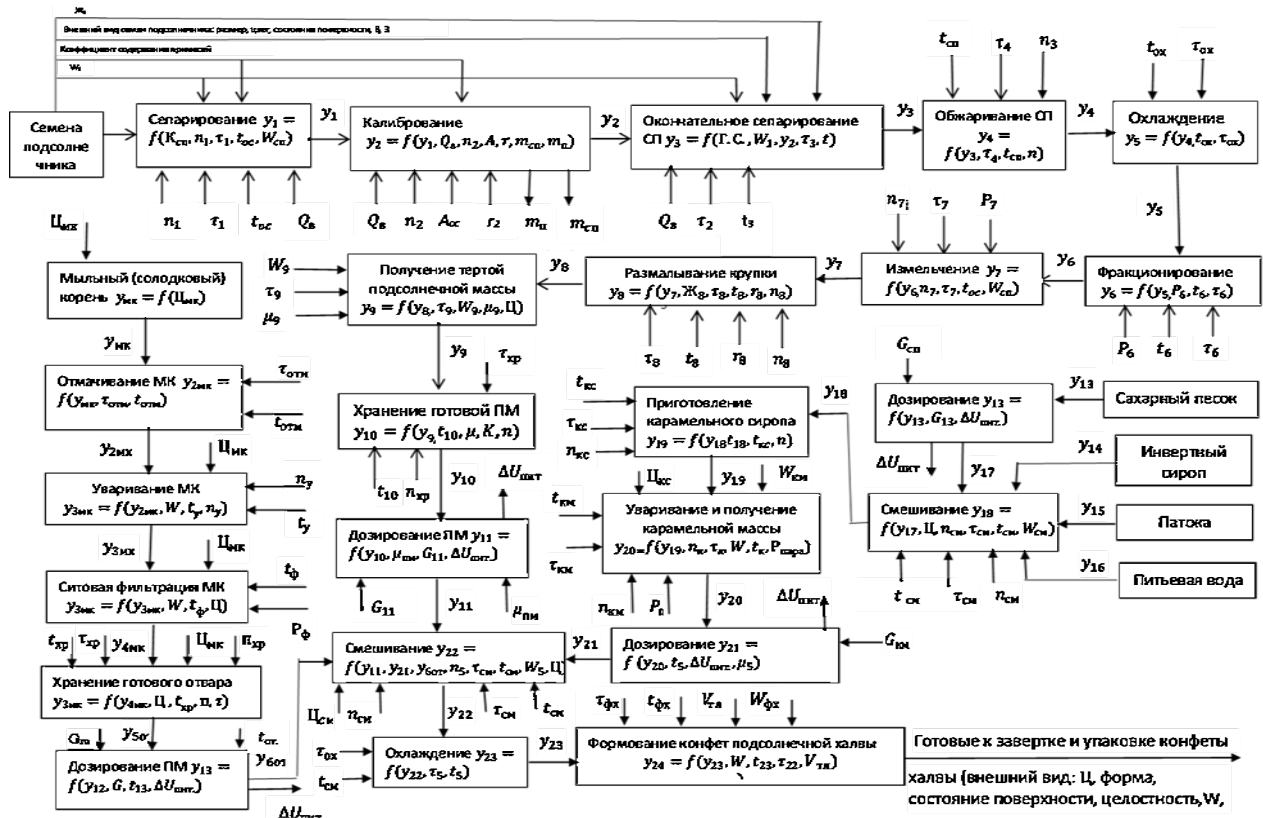


Рис. 1.18. ФСС влияния показателей качества исходного сырья и промежуточных операций на качество халвы на всех этапах

При разработке этой схемы были использованы полученные нами при проведении экспериментальных исследований данные об основных контролируемых показателях качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий, а также функциональные зависимости выходных или промежуточных параметров хода ТП производства подсолнечной халвы от входных переменных [25, 29 – 34].

Исходным сырьем для получения подсолнечной халвы являются семена подсолнечника. Основные органолептические показатели качества семян подсолнечника: коэффициент содержания примесей $q_{сп}$; вкус ($B_{сп}$); запах ($Z_{сп}$); влажность, $W_{сп}$; содержание жира, $J_{сп}$ и внешний вид ($Bн.в_{сп}$), включающий следующие показатели: размер ($L_{сп}$), цвет ($C_{сп}$), состояние поверхности ($СП_{сп}$), целостность ($Цел._{сп}$) [49]. При хранении на качество семян подсолнечника влияют такие режимные параметры, как продолжительность хранения ($\tau_{хсп}$), температура хранения ($t_{хсп}$) и относительная влажность воздуха (ϕ_v) ТП получения подсолнечной массы состоит из следующих операций:

- *сепарирование* семян подсолнечника в воздушно-ситовом сепараторе. Эффективность данного процесса Y_1 определяется качеством поступающих семян подсолнечника ($K_{сп}$) (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* (сортирование семян подсолнечника по крупности). Эффективность данного процесса и получение полуфабриката с оптимальными показателями качества Y_2 зависит от эффективности проведения предыдущей операции и качества поступающего семян подсолнечника Y_1 , а также от режимных параметров сортировочного процесса (расход воздуха Q_v , амплитуды A , 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 (τ_{oc}), температуры (t_{oc}), а также от режимных параметров ситовеечного процесса (Q_v), (A_{oc}), (P_{oc}), (r_{oc}) и оценивается по качеству разделения семян подсолнечника на фракции, а также отделения ядра от недоруша, целиака, 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 ($n_{об}$). Качество семян подсолнечника после процесса обжаривания Y_4 оценивается по температуре ($t_{сп}$), цвету ($C_{сп}$) 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_{xp});

- *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 ($n_{см}$), находящейся внутри емкости для смешивания. Качество полученного сахарного сиропа (Y_{18}) оценивается по следующим показателям: цвет ($C_{сс}$), вкус ($B_{сс}$), 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 $C_{кс}$, вязкость $\mu_{кс}$ и влажность $W_{кс}$), а также от режимных параметров процесса уваривания (время уваривания τ_y , температура уваривания t_y и давления греющего пара внутри змеевика варочного аппарата P_y). Качество полученной карамельной массы Y_{20} оценивается по следующим показателям: цвет ($C_{км}$), вкус (B), 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 ($B_{н.в}$) (включающим: цвет, форму, состояние

поверхности халвы и целостность). Проведение формования зависит от режимных параметров этого процесса: скорости выхода массы из матричного отверстия ($V_{\text{мх}}$), температуры массы халвы, поступающей на формование ($t_{\text{мх}}$) и скорости транспортерной ленты ($V_{\text{тл}}$).

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], а также существующие ГОСТы [58 - 60] 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 1.19 представлена профилограмма исследуемых образцов халвы.

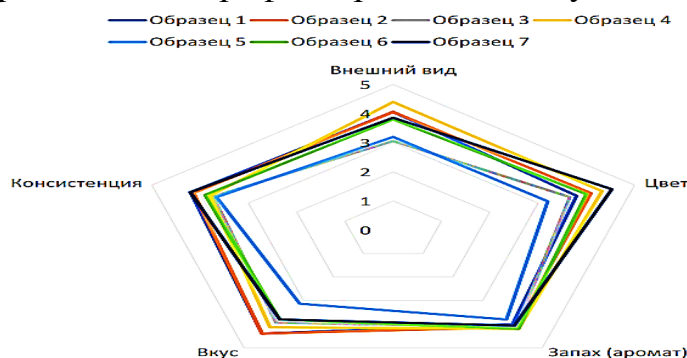


Рис. 1.19. Профилограмма исследуемых образцов халвы.

Были рассчитаны показатели:

$$K_a = 0,2183; K_{\text{пот.}} = 0,7817 \text{ и } K_{\text{ск.}} = 0,3657 \quad (1.3)$$

Полученные результаты расчетов показали, что данная схема имеет коэффициенты точности и собственных контуров $K_{\text{пот.}} > K_{\text{пот.теор.}} = 0,655$ и $K_{\text{ск.}} < K_{\text{ск.теор.}} = 0,500$, что позволяет сделать вывод о перспективности цифровой трансформации ТП производства халвы [193].

Для автоматизации управления качеством производства подсолнечной халвы (ПХ), оптимизации режимов работы технологического оборудования этой линии и цифровой трансформации данных процессов были выявлены наиболее информативные характеристики ТП производства халвы. На рисунке 1.20 представлена полученная ФСС процесса производства халвы с указанием необходимых точек контроля и регулирования. Параметры \bar{X}_{lm} , характеризующие исходные органолептические показатели качества сырья, определяемые в процессе входного контроля и полученные в результате анализов в лабораториях предприятия, а также технологические и режимные параметры (t , h , G и др.).

1.2.5. 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].

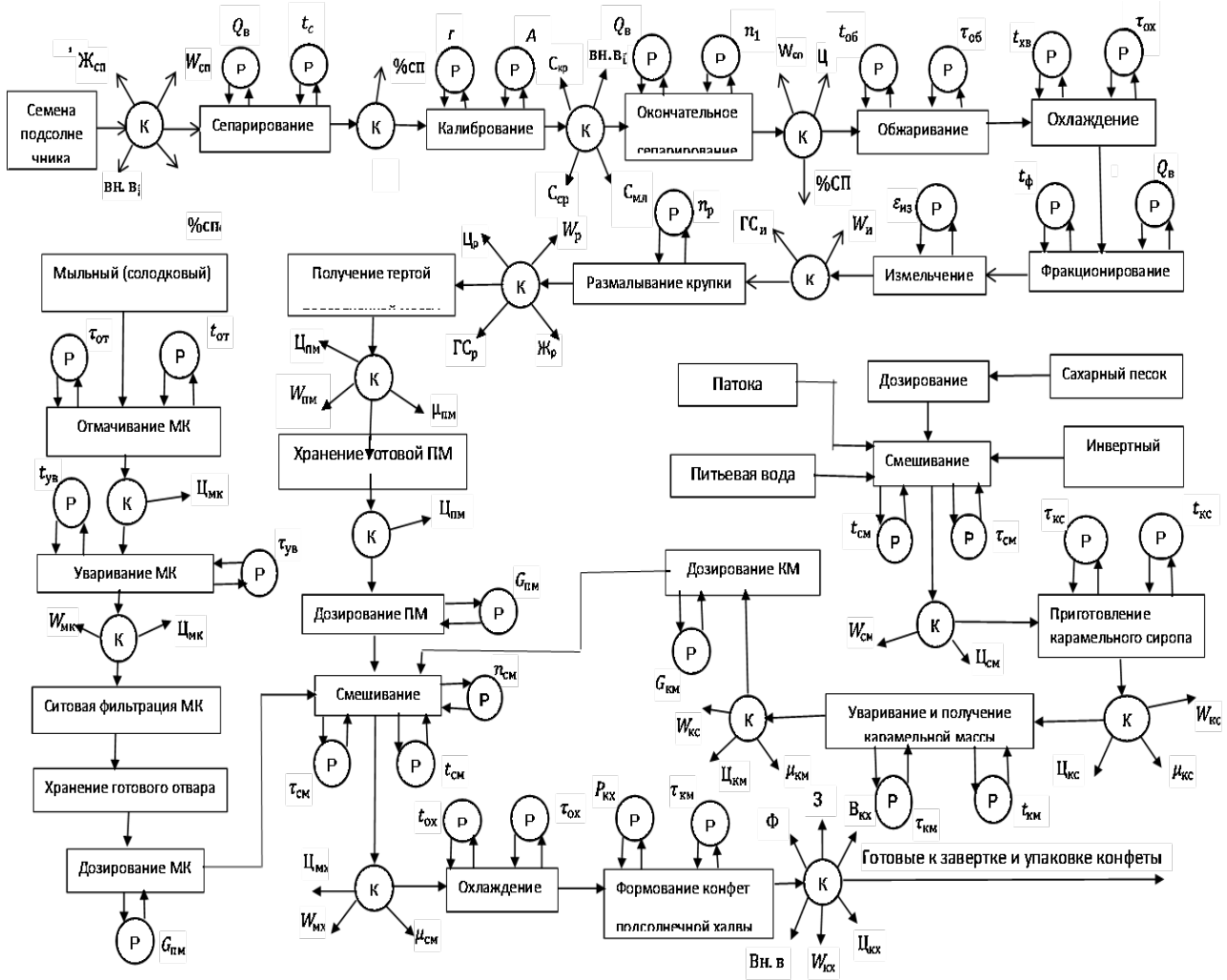


Рис. 1.20. ФСС формирования качества подсолнечной халвы с указанием информативных параметров контроля и регулирования

В Федеральном законе N 469750-4 "О техническом регламенте на кондитерскую продукцию", а также в ГОСТе 6442-89 «Мармелад. Технические условия» дается определение понятия «мармелад»: «Мармелад представляет собой сахаристое кондитерское изделие студнеобразной консистенции». 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 1.21 представлена машинно-аппаратурная схема приготовления мармелада [13].

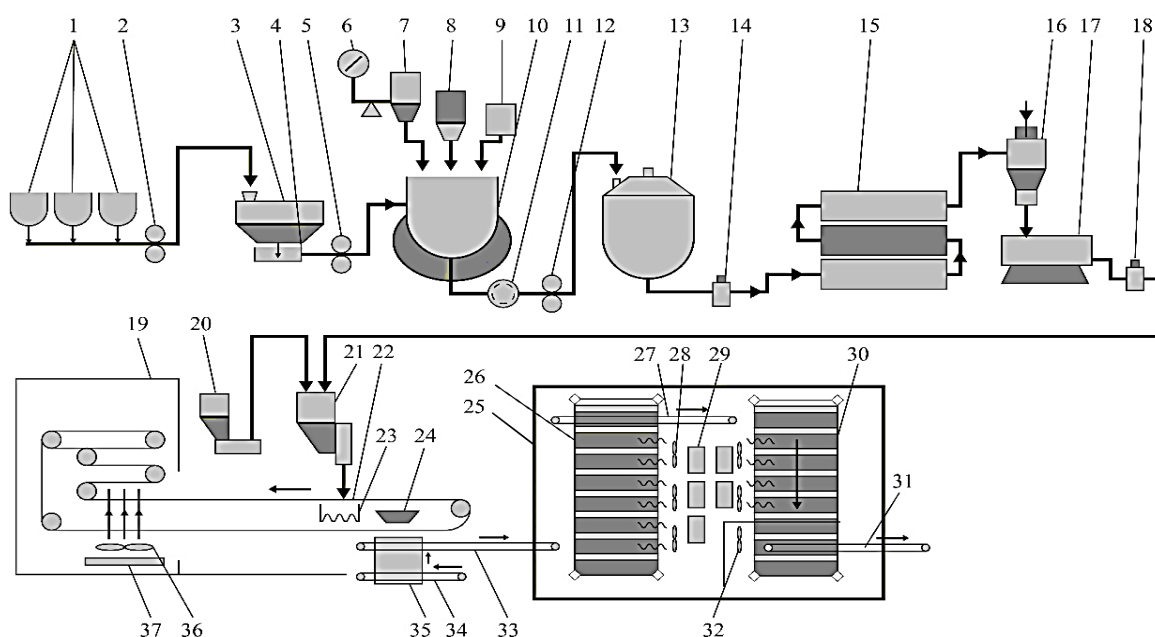


Рис. 1.21. Машинно-аппаратурная схема приготовления мармелада

Производственная линия приготовления различных сортов мармелада показана на рисунке 1.22 в 3D виде.



Рис. 1.22. Производственная линия приготовления мармелада в 3D виде

На рисунке 1.23 представлена схема основных стадий ТП производства мармелада.

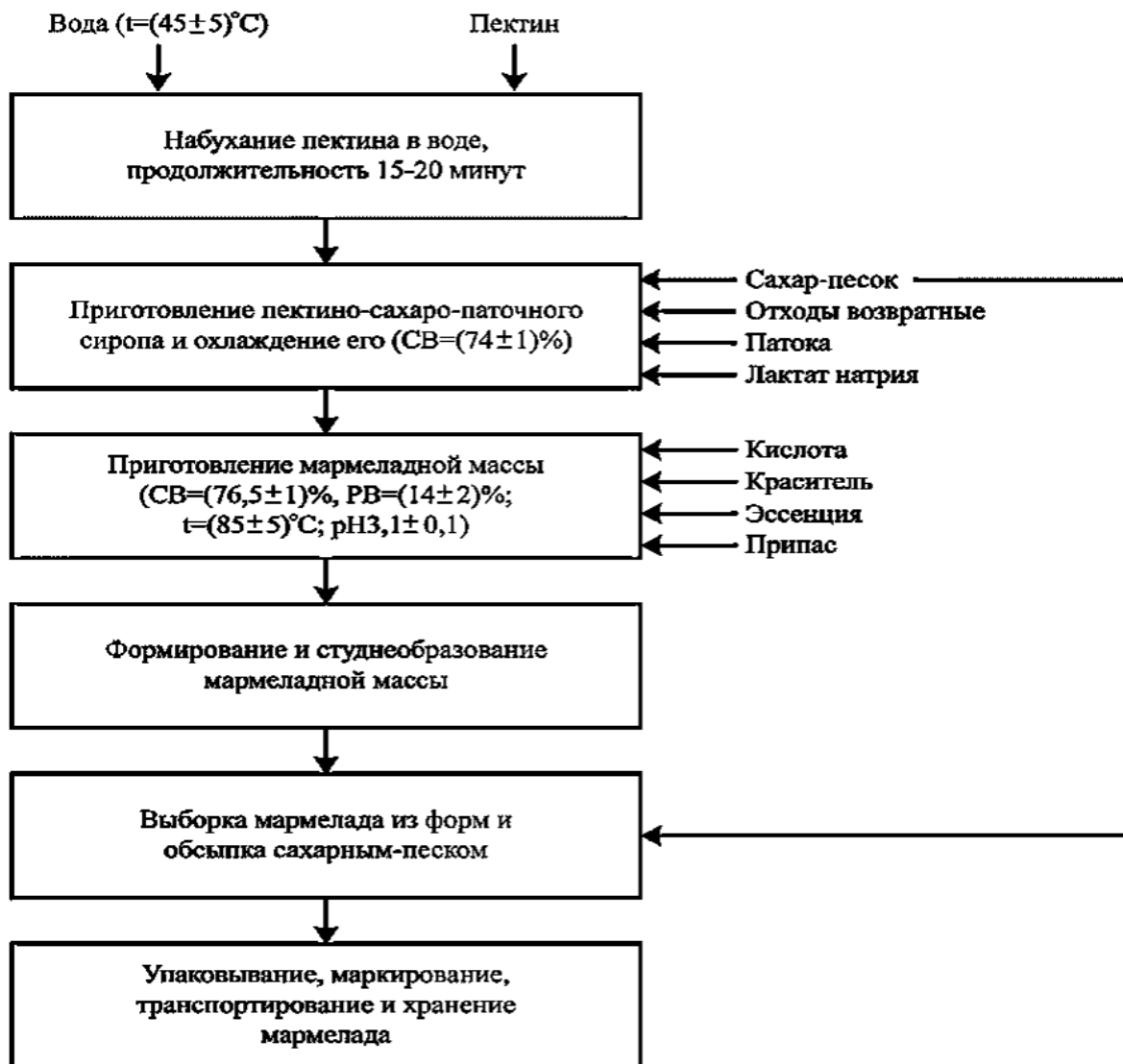


Рис. 1.23. Основные стадии процесса производства мармелада

По органолептическим показателям мармелад должен соответствовать требованиям ГОСТ 6442-89 «Мармелад. Технические условия». При определении органолептической оценки качества мармелада фабричного производства эксперты-дегустаторы в лабораториях кондитерских предприятий в баллах оценивают показатели качества мармелада, представленные на профилограммах исследуемых образцов мармелада фруктово-ягодного и желеинового (рисунок 1.24).

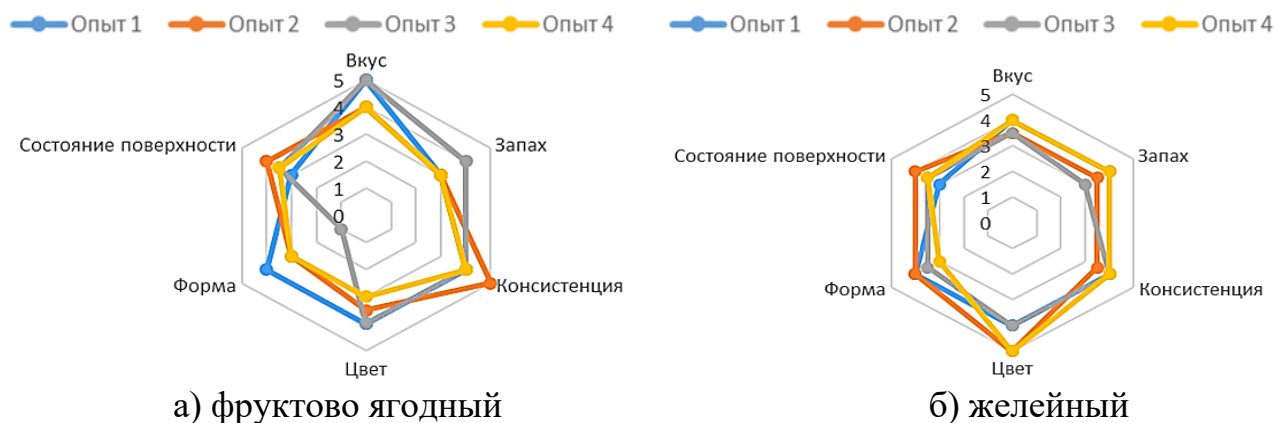


Рис. 1.24. Профилограмма органолептической оценки образцов мармелада

Были рассчитаны показатели линии производства мармелада:

$$K_a = 0,2044; K_{\text{пот.}} = 0,7956 \text{ и } K_{\text{ск.}} = 0,2976 \quad , \quad (1.4)$$

Полученные результаты расчетов показали, что данная схема имеет коэффициенты поточности и собственных контуров $K_{\text{пот.}} > K_{\text{пот.теор.}} = 0,655$ и $K_{\text{ск.}} < K_{\text{ск.теор.}} = 0,500$, 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 (рисунок 1.25).

1.2.6. Процесс приготовления карамели

Существует огромный ассортимент карамели: с шоколадными начинками и глазированной шоколадной глазурью; с ликерными сбивными, молочными и масляно-сахарными начинками; молочная карамель; карамель мягкая, глазированная шоколадной глазурью и другие [136].

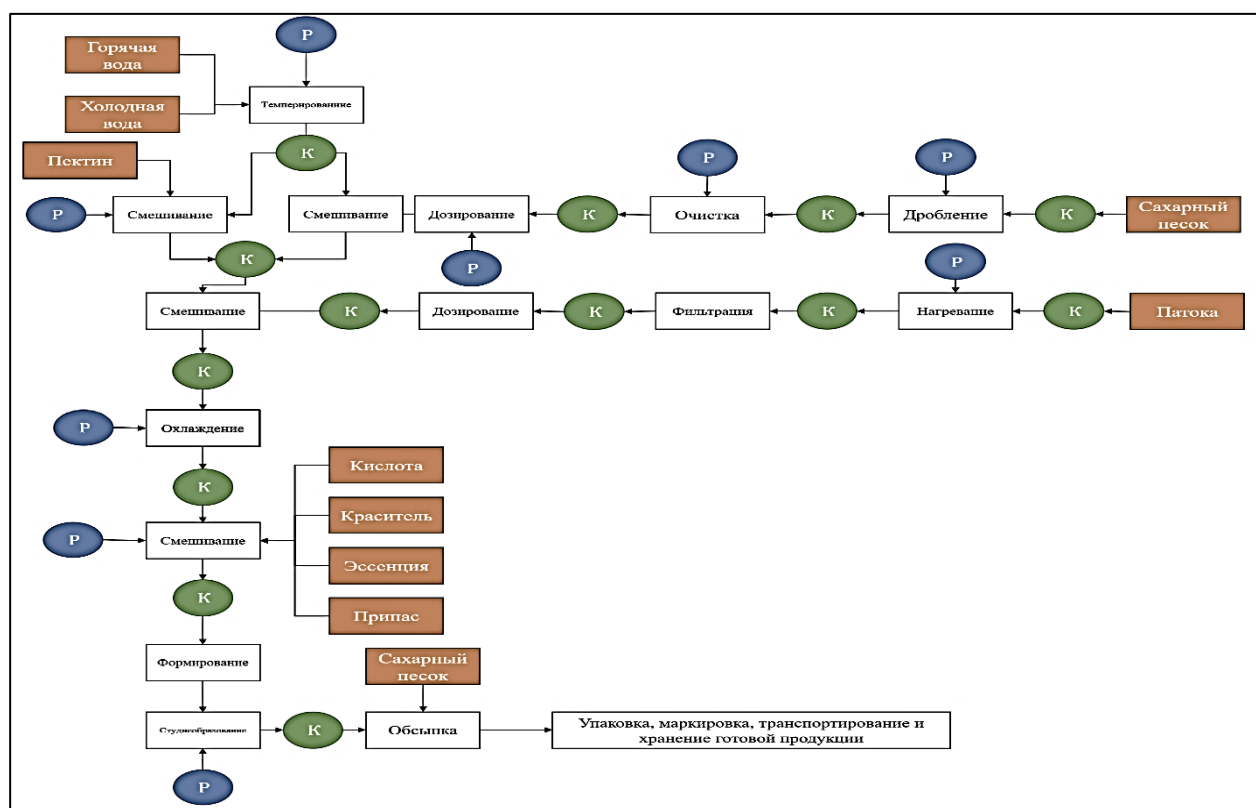


Рис. 1.25. ФСС процессов производства мармелада с указанием необходимых точек контроля и регулирования

Машинно –аппаратурная схема линии производства леденцовой карамели представлена на рисунке 1.26.

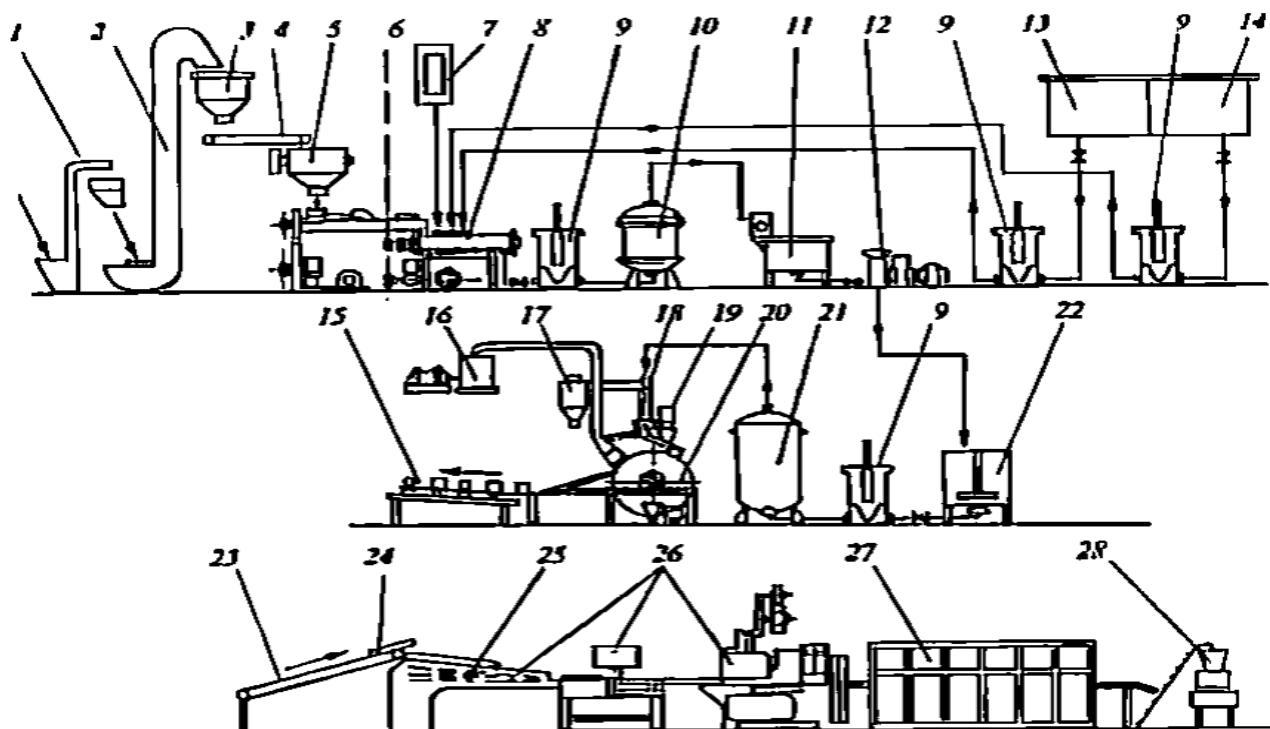


Рис. 1.26. Машинно –аппаратурная схема линии производства карамели

Сахар подается в просеиватель 1, очищается от посторонних примесей и норией 2 подается 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 подается 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 проминальный транспортер 15. Далее распределительным конвейером 23, с помощью заслонок 24 карамельная масса передается в обкаточные машины 25 формующе-заверточного агрегата. Основные этапы процесса производства леденцовой карамели приведены на рисунке 1.27 [138].

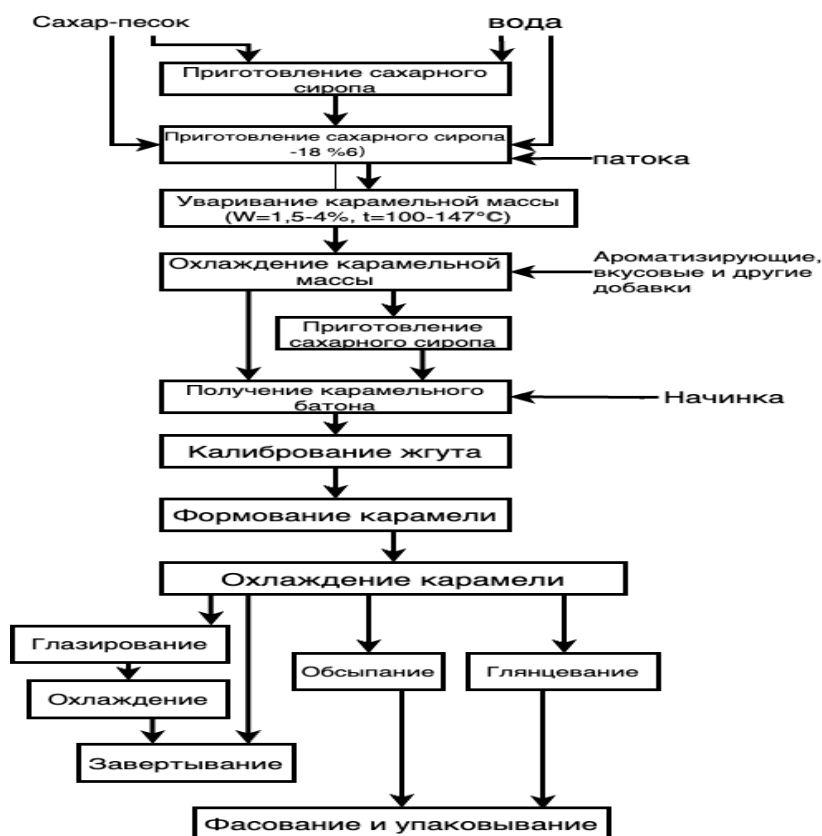


Рис 1.27. Основные этапы процесса производства леденцовой карамели.

Технологические схемы производства различных видов карамели аналогична рассмотренной леденцовой и включает точно такие же основные стадии.

Анализ существующих способов определения качества карамели показал, что в настоящее время качество готовых изделий определяют в соответствии с ГОСТ 6477-88 «Карамель. Общие технические условия», в соответствии с которым определяются органолептические показатели качества в процессе производства

В настоящее время органолептические показатели качества карамели определяются экспертами-дегустаторами в лабораториях кондитерских фабрик [136]. Недопустимыми дефектами карамели являются [138]: 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 1.28. представлена профилограмма органолептической оценки исследуемых образцов леденцовой карамели.

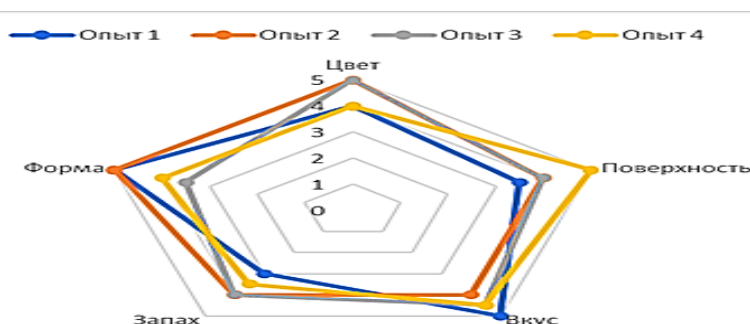


Рис. 1.28. Профилограмма органолептической оценки образцов карамели

Были рассчитаны показатели наличия линии производства карамели:

$$K_a = 0,2871; K_{\text{пот.}} = 0,7129 \text{ и } K_{\text{ск.}} = 0,3267 \quad (1.5)$$

Полученные результаты расчетов показали, что данная схема имеет коэффициенты поточности и собственных контуров $K_{\text{пот.}} > K_{\text{пот.теор.}} = 0,655$ и $K_{\text{ск.}} < K_{\text{ск.теор.}} = 0,500$, что позволяет сделать вывод о перспективности цифровой трансформации ТП производства карамели [193].

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.

Проведенные исследования позволили разработать ФСС процессов производства карамели с указанием необходимых точек контроля и регулирования, представленную на рисунке 1.29.

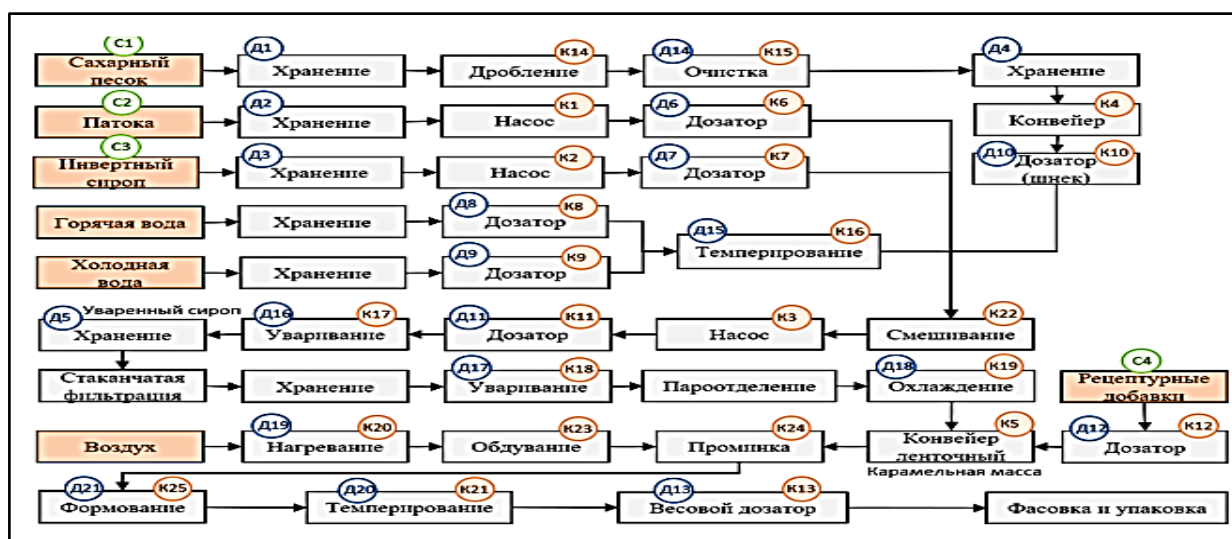


Рис. 1.29. ФСС процессов производства карамели с указанием необходимых точек контроля и регулирования.

1.2.7. 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]. Зефир относится к числу кондитерских изделий, рекомендуемых институтом питания РАМН для питания в детских садах и школах [223]. 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 1.30.

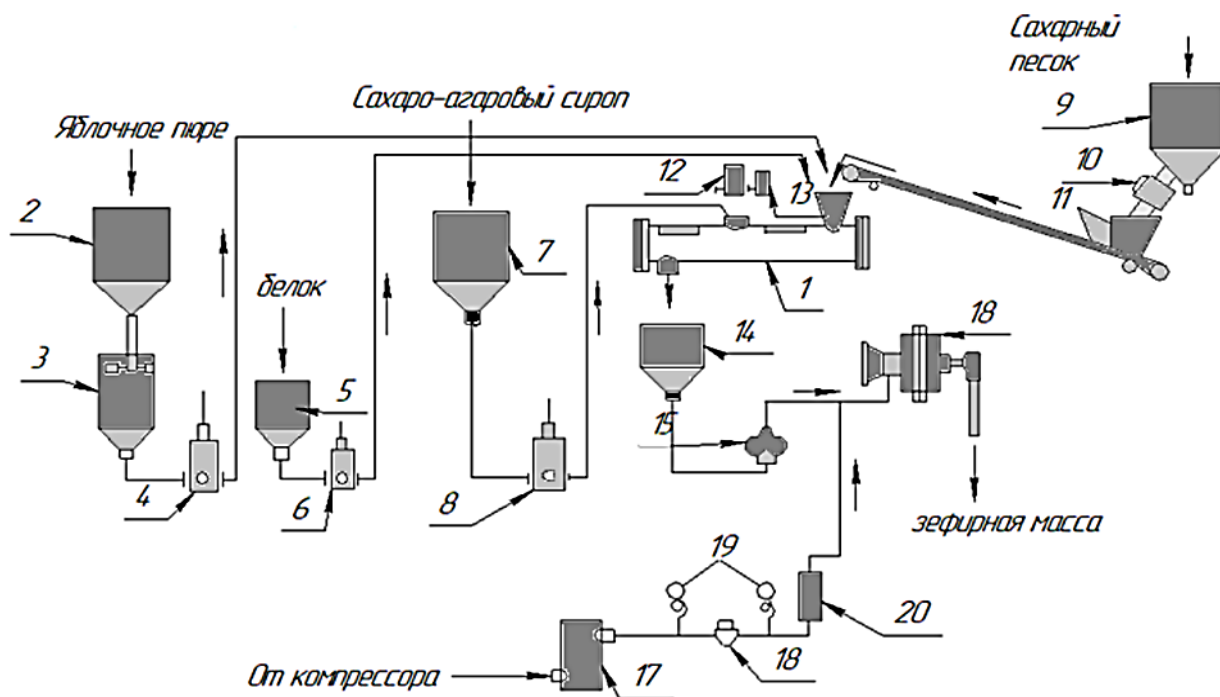


Рис. 1.30. Линия приготовления зефира

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 1.31.

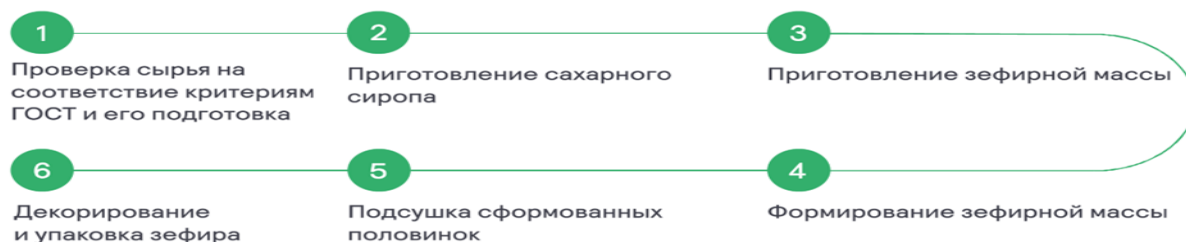


Рис. 1.31. Основные стадии процесса производства зефира

Структурная схема основных этапов производства зефира с указанием основных технологических и режимных параметров представлена на рисунке 1.32.

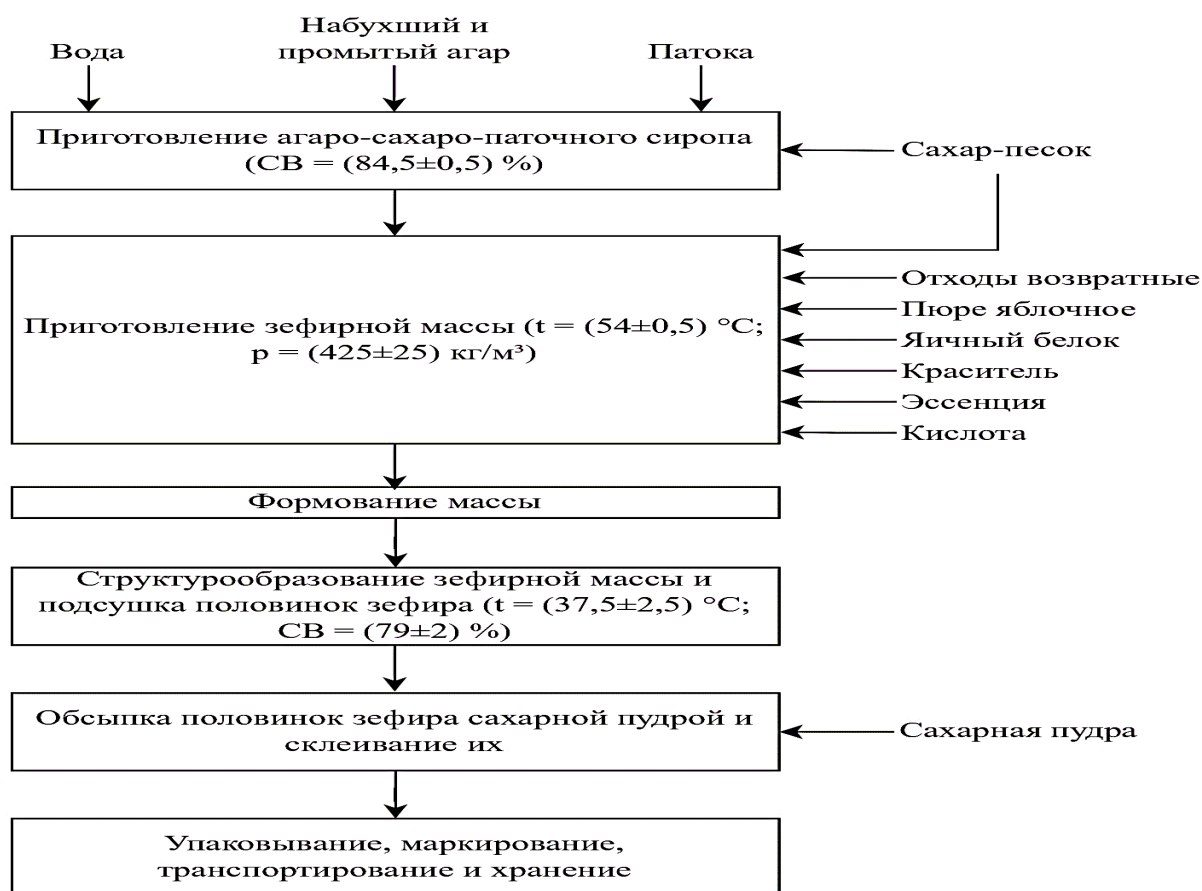


Рис. 1.32. Структурная схема основных этапов производства зефира с указанием технологических и режимных параметров

Анализ процесса производства зефира показал, что факторами, формирующие его качество являются: органолептические показатели качества 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 1.5 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. 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 1.33. представлена профилограмма органолептической оценки исследуемых образцов зефира.

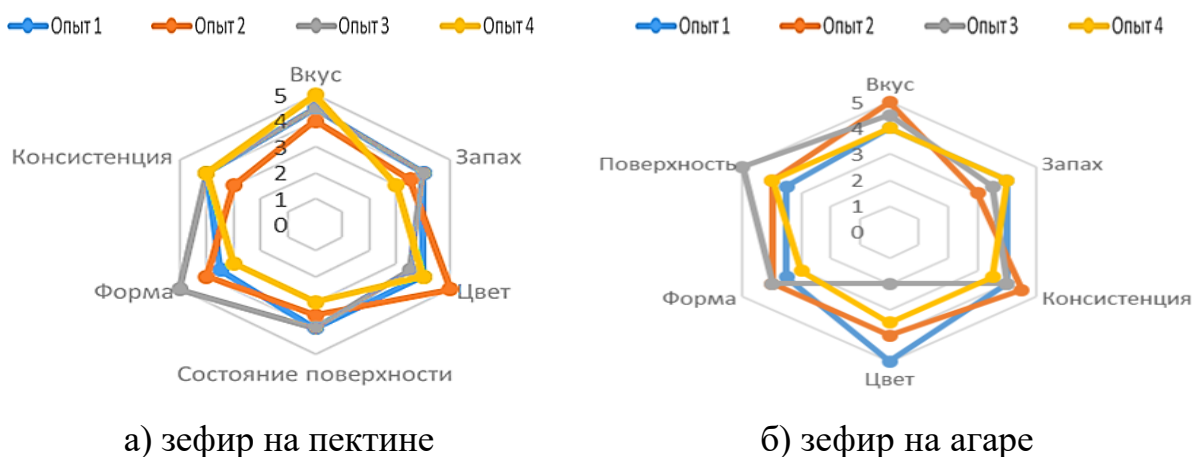


Рис. 1.33. Профилограммы органолептической оценки образцов зефира

Были рассчитаны показатели линии приготовления зефира:

$$K_a = 0,2649; K_{\text{пот.}} = 0,7351 \text{ и } K_{\text{ск.}} = 0,3813 \quad (1.6)$$

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

На рисунке 1.34 представлена разработанная ФСС процессов производства зефира с указанием необходимых точек контроля и регулирования.

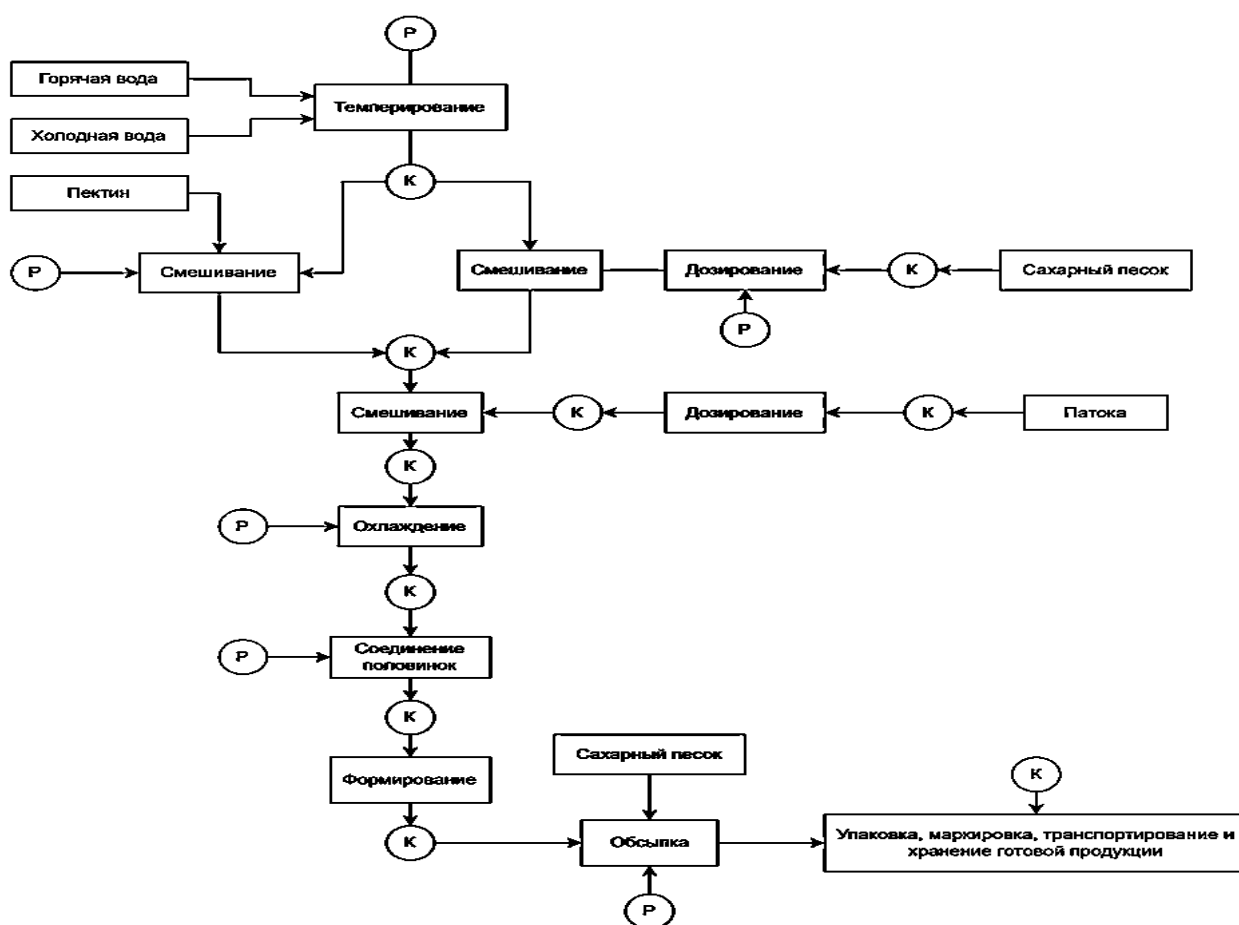


Рис. 1.34 ФСС производства зефира с необходимыми точками контроля и регулирования

1.2.8. Процесс приготовления козинак

Козинаки - восточная сладость, изготавливаемая из подсушенных или обжаренных орехов, или семян подсолнечника, смешанных с растопленным мёдом

или сахар-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 основе подсолнечных семечек [3]. Виды козинак: по форме подачи козинаки бывают: 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 1.35. Сироп готовят в варочном котле. Патоку и сахар загружают по весу или объёму при помощи дозаторов. Карамельный сироп уваривается в котлах. Готовность карамельной массы определяется органолептически. Затем карамельная масса поступает на перемешивание с ядрами подсолнечника в месильную чашу, чтобы равномерно распределить карамельную массу и ядра подсолнечника. Перемешивают массу в смесителе с включенной паровой рубашкой. Далее массу перегружают на формующую линию с туннелем охлаждения.

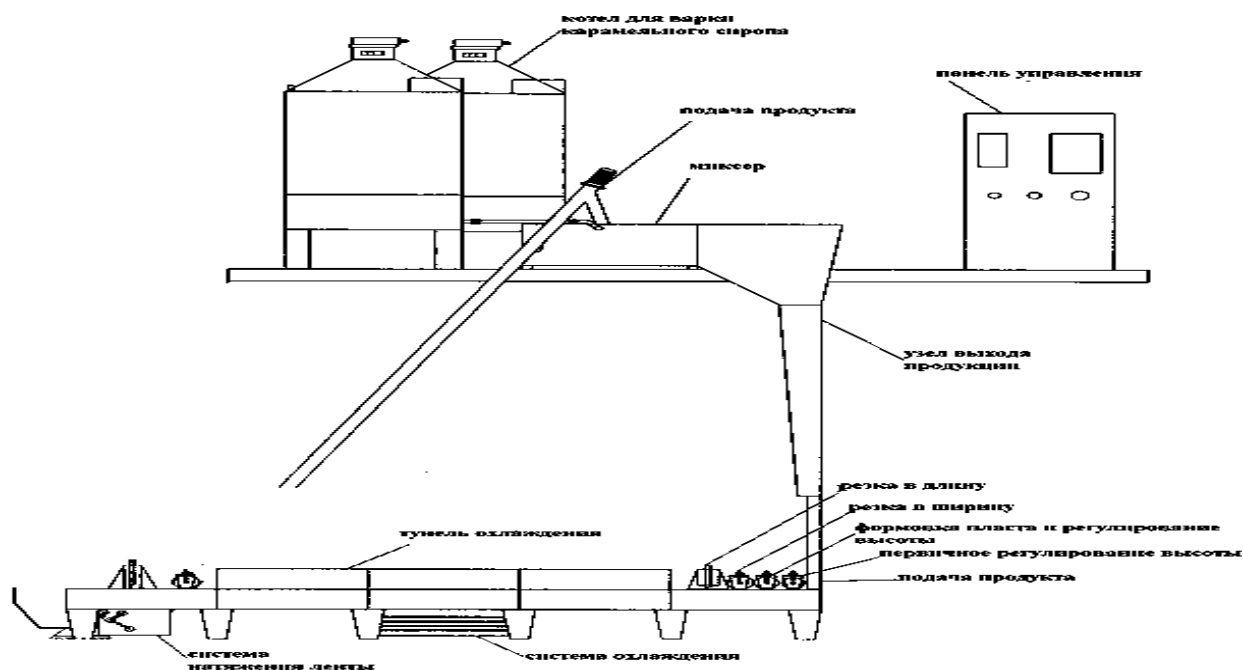


Рис. 1.35. Машинно-аппаратурная схема производства козинак.

Порезка вдоль осуществляется валами, порезка поперёк – пневматическими гильотинами. Охлаждение осуществляется вентиляторами сверху. Далее продукт направляется на упаковку.

Основные стадии производства козинак представлены на рисунке 1.36.

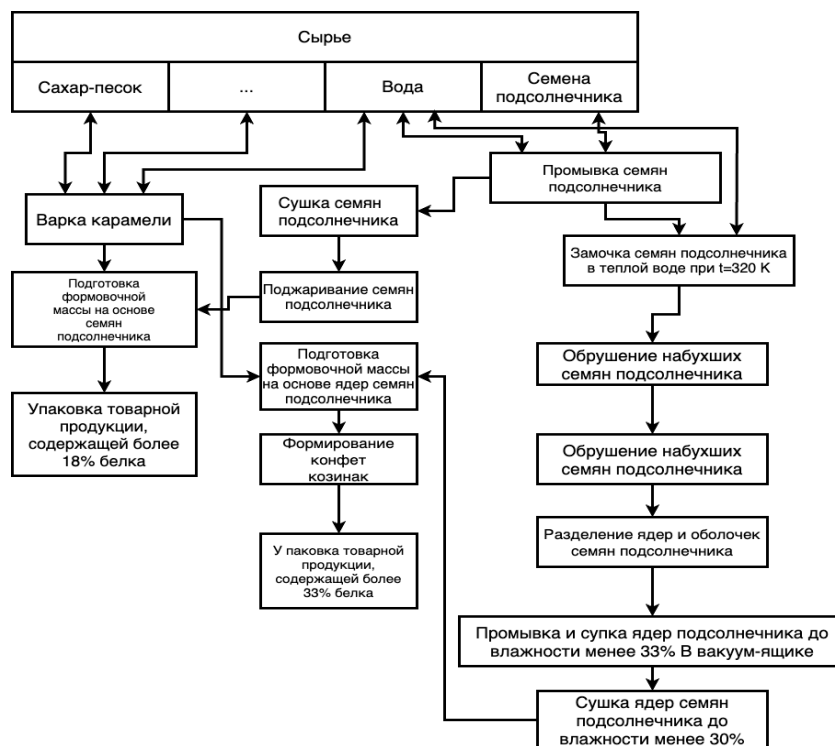


Рис. 1.36. Основные стадии процесса производства козинак

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

Наименование показателя	Характеристика изделия	
	по прототипу	согласно примерам
Вкус и запах	Вкус приторно сладкий, без посторонних привкусов и запахов	Вкус сладкий, с «ананасными» нотками
Форма	Соответствует данному виду изделий, без деформаций	
Консистенция	Твердая, присутствует крохлявость	Твердая, вид на изломе стекловидный
Внешний вид	Поверхность сухая, цвет светло-коричневый	Поверхность сухая, глянцевая, цвет темно-кремовый
Массовая доля влаги, %	3,2	3,5

В настоящее время данные органолептические показатели конфет козинак, определяются экспертами кондитерских предприятий в специально отведенных

помещениях качества. Конфеты не допускаются в реализацию при обнаружении выраженных дефектов, а также в случае выявления фальсификации [28]. На рисунке 1.37 представлена профилограмма органолептической оценки исследуемых образцов козинак.

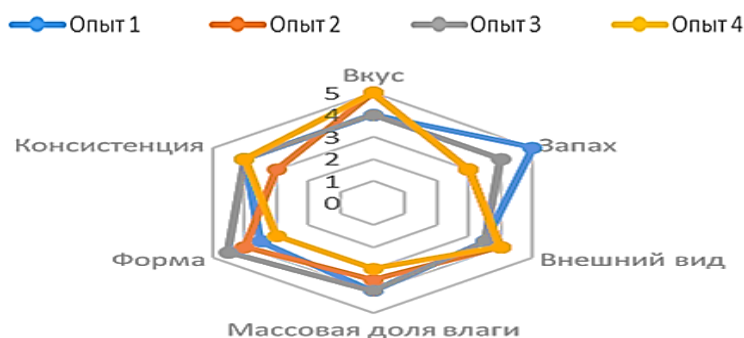


Рис. 1.37. Профилограмма органолептической оценки образцов козинак

Были рассчитаны коэффициенты асимметричности $K_{ас.}$, поточности $K_{пот.}$ и показатель наличия собственных контуров $K_{ск.}$ линии производства козинак:

$$K_a = 0,2977; K_{пот.} = 0,7023 \text{ и } K_{ск.} = 0,4235 \quad (1.7)$$

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

Для автоматизации управления качеством производства козинак и цифровой трансформации этого производства была разработана ФСС процессов производства козинак с указанием необходимых точек контроля и регулирования, представленную на рисунке 1.38.

1.2.9. 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 без глянца сахарной шлифованной поверхностью [223].

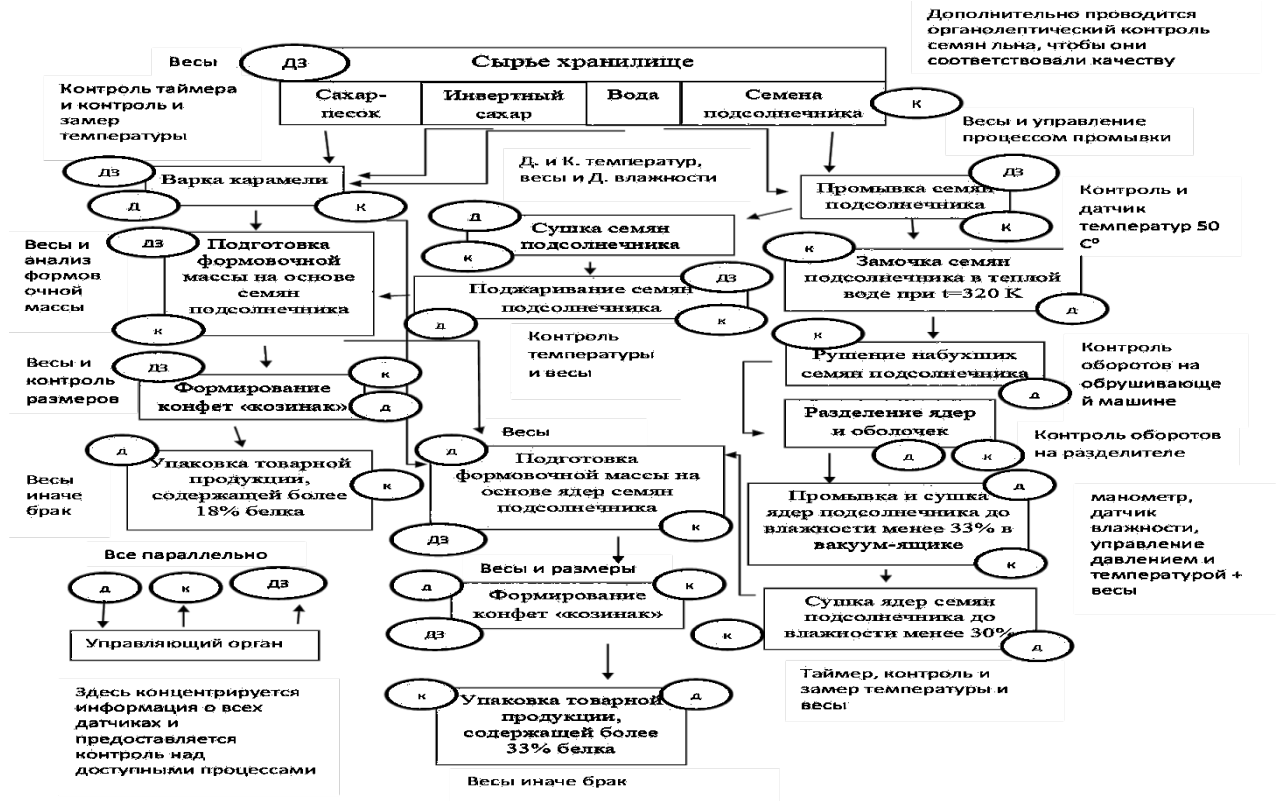


Рис. 1.38. ФСС производства конфет козинак с необходимыми точками контроля и регулирования (Д – датчики; К – контроллеры).

По виду покрытия драже подразделяют на следующие группы: покрытое сахарной пудрой (клюква в сахаре); сахарной пудрой с различными добавками [121]. Схема линии производства драже показана на рисунке 1.39. [197].

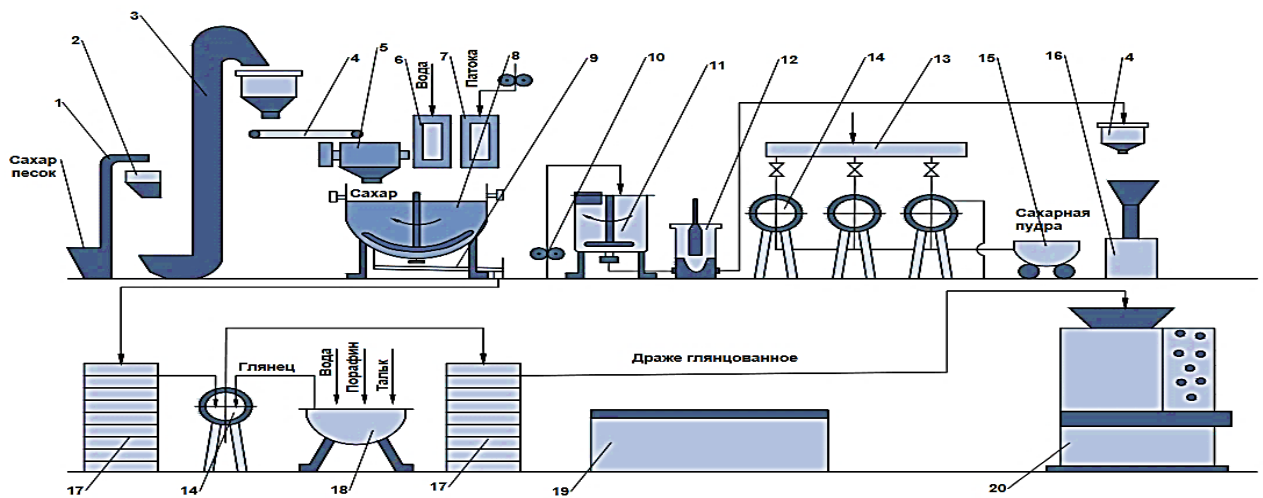


Рис. 1.39. Схема линии производства сахарного драже.

Подробно данная схема проанализирована в наших статьях [23 – 26].

На рисунке 1.40 показана структурная схема ТП производства драже разных видов. Технология производства драже включает следующие основные стадии: приготовление корпусов драже, т.е. основы драже; дражирование корпуса; глянецвание; 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, 32].

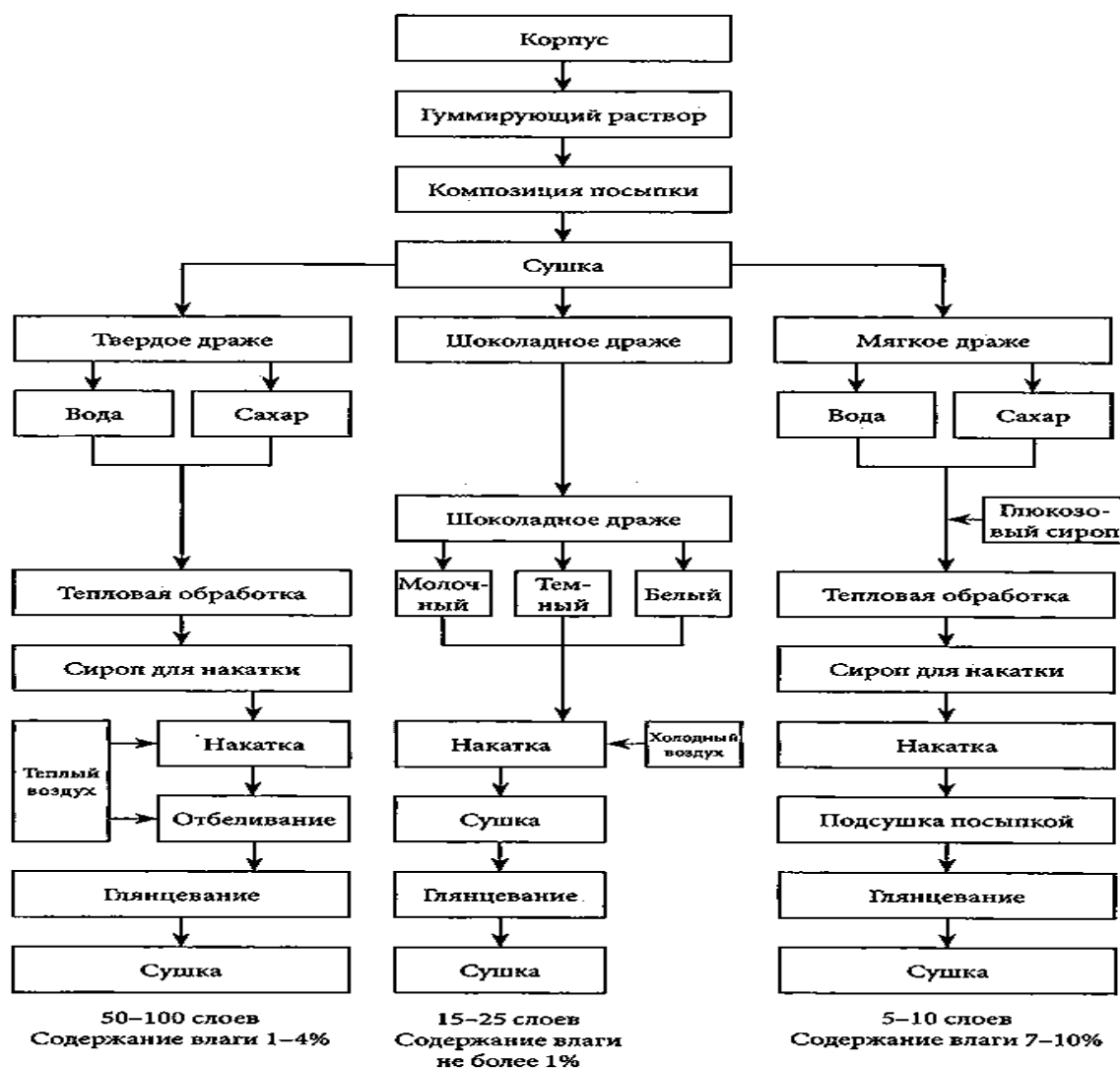


Рис. 1.40. Структурная схема ТП производства драже разных видов.

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

В настоящее время органолептические показатели драже, определяются лабораторными методами экспертами кондитерских предприятий в специально отведенных помещениях качества. На рисунке 1.41. представлена профилограмма органолептической оценки исследуемых образцов драже.

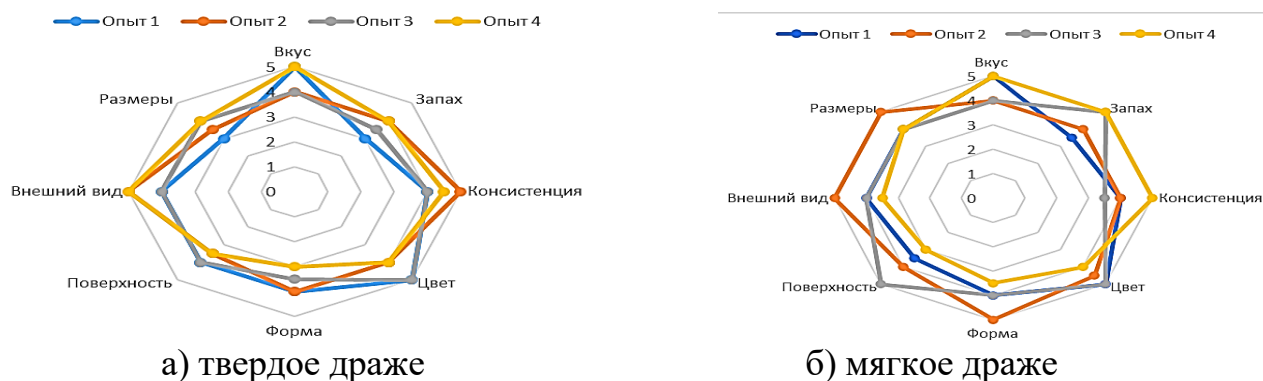


Рис. 1.41. Профилограмма органолептической оценки драже

Были рассчитаны показатели линии производства драже:

$$K_a = 0,3013; K_{\text{пот.}} = 0,6987 \text{ и } K_{\text{ск.}} = 0,4462 \quad (1.8)$$

Полученные результаты расчетов показали, что $K_{\text{пот}} > K_{\text{пот.теор.}} = 0,655$ и $K_{\text{ск}} < K_{\text{ск.теор.}} = 0,500$, что позволяет сделать вывод о возможности цифровой трансформации ТП производства драже [214].

На рисунке 1.42 представлена разработанная схему процессов производства драже с указанием необходимых точек контроля и регулирования.

1.2.10. Процесс приготовления ириса

Ирис — помадная масса, получаемая при уваривании сгущённого молока с сахаром, патокой и жиром (сливочным либо маргарином) [136]. 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; ирис на основе орехов и масличных семян [223]. В зависимости от способа изготовления массы ирис подразделяют на ли-той и тираженный.

На рисунке 1.43 представлена машинно-аппаратурная схема производства полутвердого ириса [197].

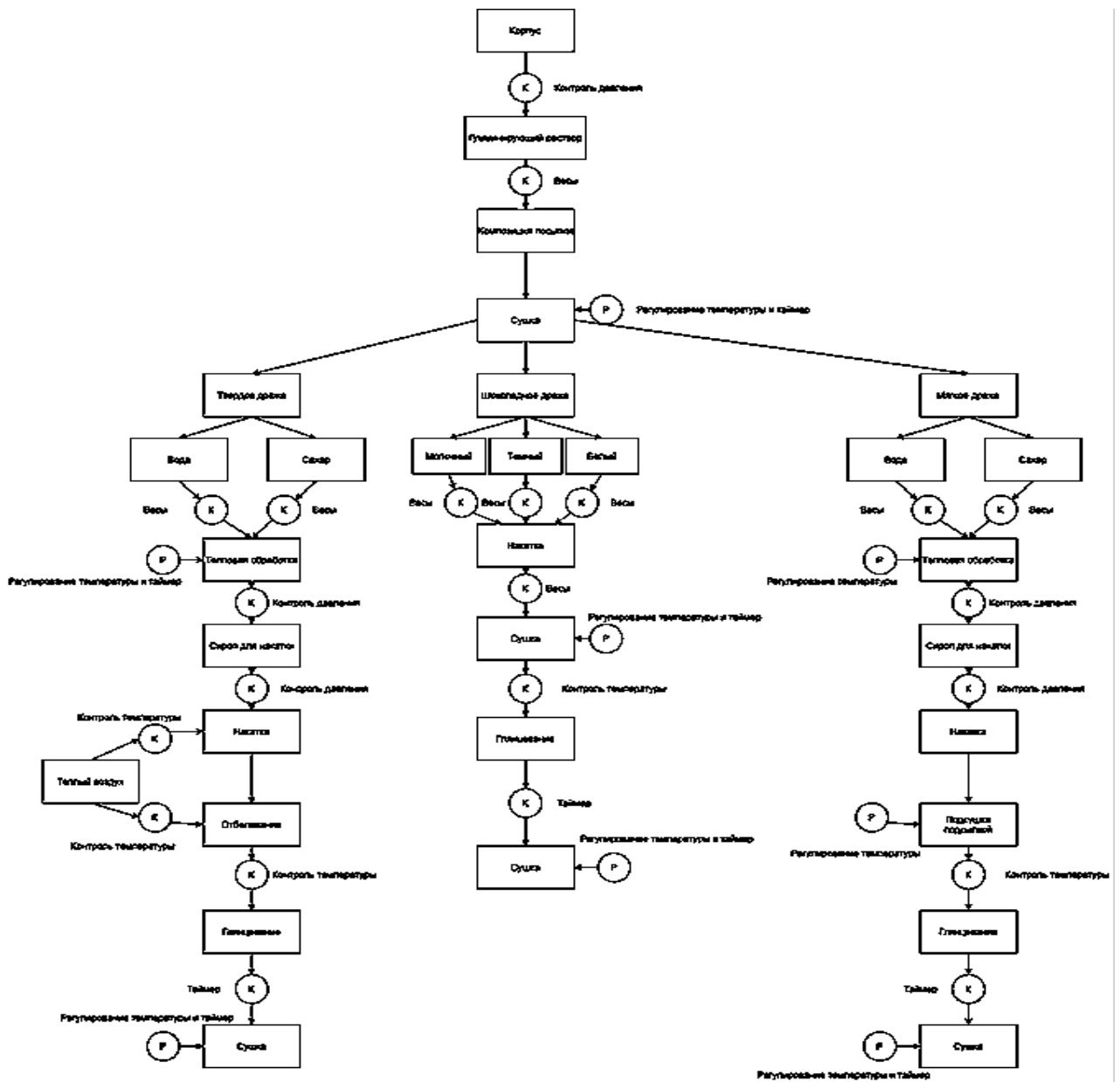


Рис. 1.42. Точки контроля и регулирования процессов производства драже

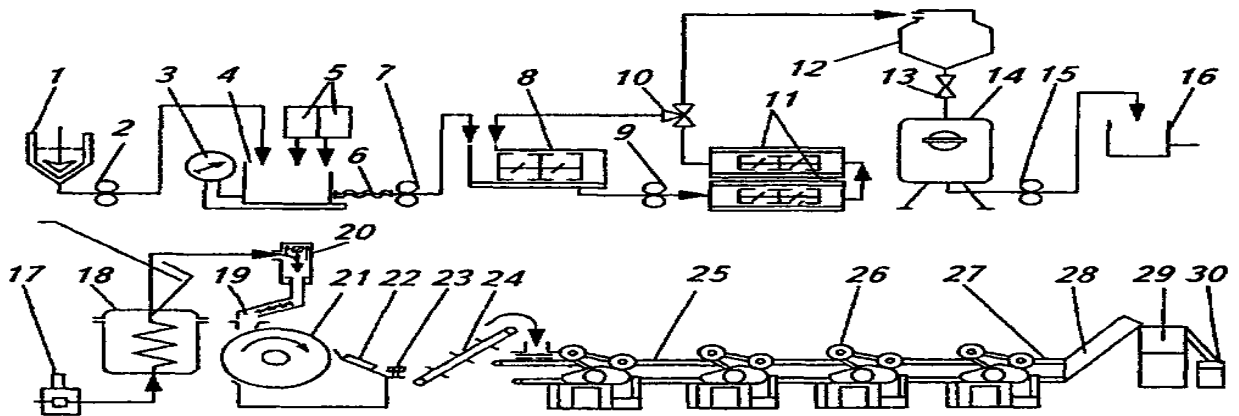


Рис. 1.43. Схема приготовления ириса

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. Заем 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 формируется 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 1.44.

Производство тираженного ириса имеет дополнительную операцию — тиражение ирисной массы [10].

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



Рис. 1.44. Стадии ТП производства ириса.

По органолептическим показателям качества ирис должен соответствовать требованиям ГОСТ 6478-2014, указанным в таблице 1.5.

Органолептические показатели качества ириса

Таблица 1.5

Наименование показателя	Характеристика ириса			
	Литого полутвердого	Тиражного		
		Полутвердого	Мягкого	Тягучего
1	2	3	4	5
Вкус и запах	Ясно выраженные, характерные для данного наименования ириса			
Структура	Аморфная	Мелкокристаллическая с равномерным распределением кристаллов сахара по всей массе		
Консистенция	Полутвердая		Мягкая	Тягучая
Поверхность	Нелипкая, с четким с рифлением. Для ириса, изготавливаемого на поточно-механизированных линиях, допускаются небольшие трещины и некоторая нечеткость рифления			
<i>Окончание таблицы 2</i>				
1	2	3	4	5
Форма	В соответствии с рецептурами. Для ириса, изготавливаемого на поточно-механизированных линиях, допускается незначительная деформация и неровный срез			

Исследование качества ирисовых изделий начинают с органолептической оценки. Эксперты-дегустаторы для анализа органолептических показателей раз-

резают 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 качество полученных изделий.

Изучение особенностей ТП производства ириса показало, что на вкус и свойства ириса большое влияние оказывают: используемое сырье, рецептура, ТП производства. В результате тепловой обработки (уваривание) 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. К ним относятся посторонние привкус и запах, резкий запах пищевого ароматизатора, привкус прогорклости, хруст на зубах (от песка) 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. При хранении ирис может усыхать, черстветь, становиться твердым.

На рисунке 1.45. представлена профилограмма органолептической оценки исследуемых образцов ириса.

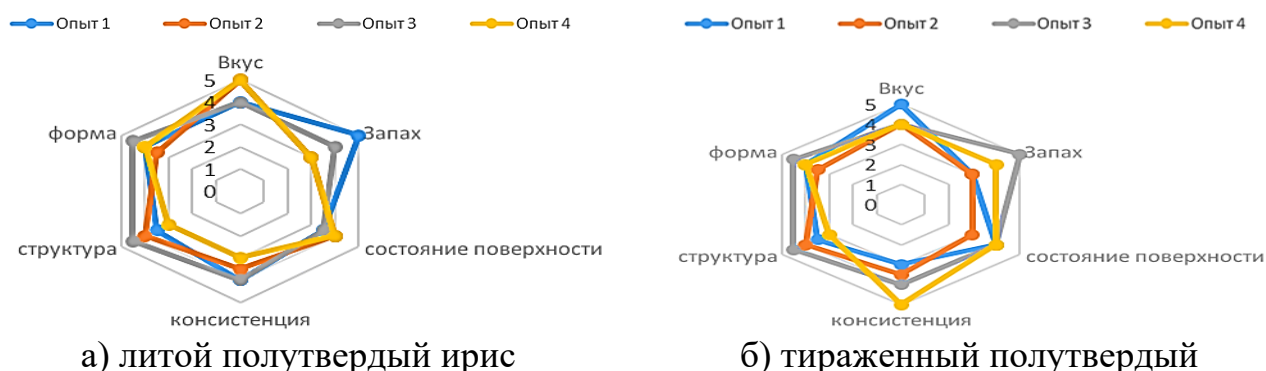


Рис. 1.45. Профилограмма органолептической оценки образцов ириса

Были рассчитаны показатели:

$$K_a = 0,2376; K_{\text{пот.}} = 0,7624 \text{ и } K_{\text{ск.}} = 0,4125 \quad (1.9)$$

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

На рисунке 1.46 представлена разработанная ФСС процессов производства ириса с указанием необходимых точек контроля и регулирования.

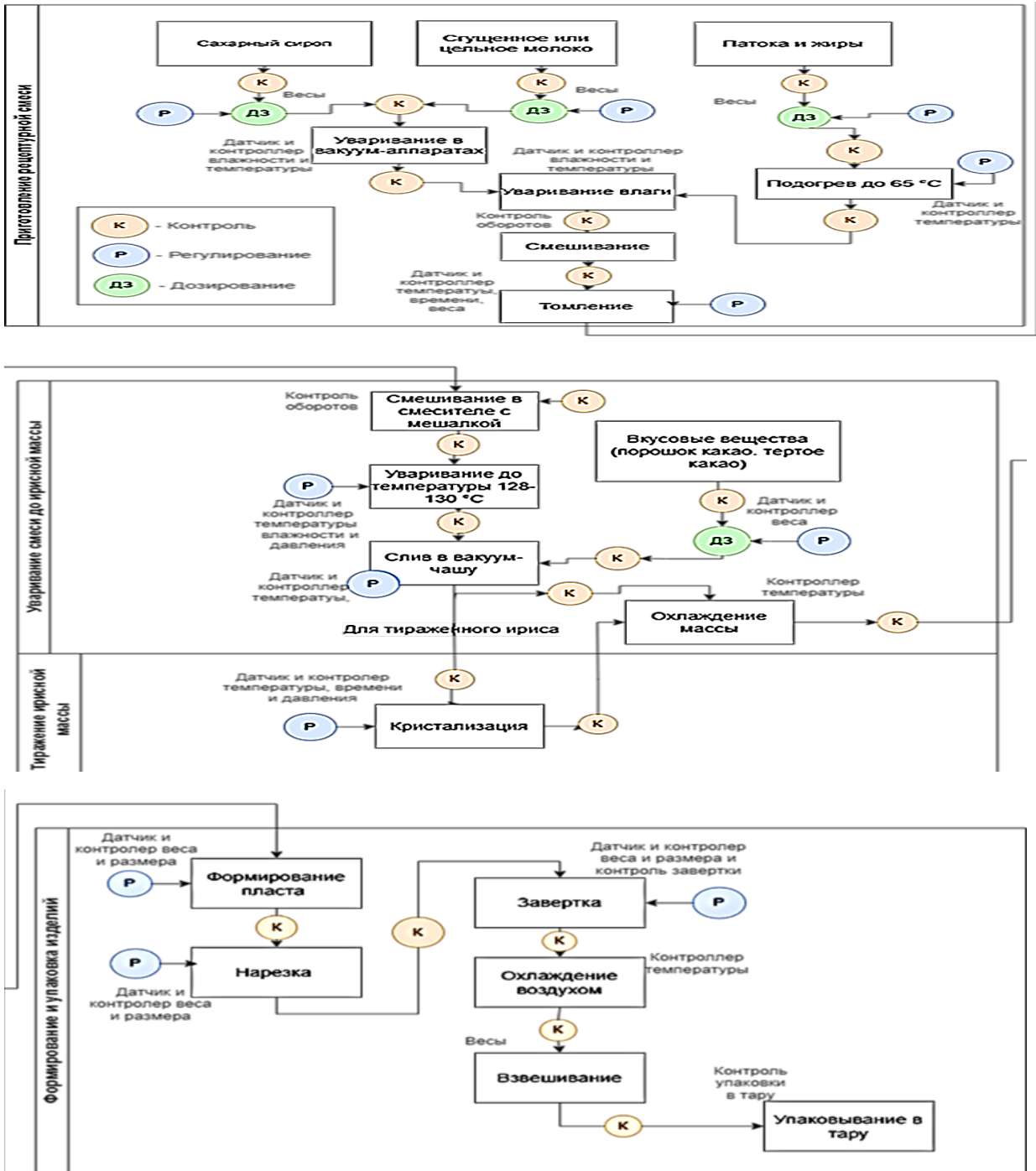


Рис. 1. 46. Точки контроля и регулирования процессов производства ириса

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 кондитерской продукции и выбрать факторы, определяющие эффективность этих операций (таблица 1.6).

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
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 и структурно-механические 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 и т.д.)	+ Гранулометрический состав, массовая доля сухих веществ, массовая доля жира, температура, количество примесей
4	Тепловая обработка: разогревание, уваривание,	Конструктивные параметры оборудования/скорость, интенсивность,	Начальная и конечная температура,	+ + + +

	сбивание, прогревание, охлаждение, согревание, сушка, обжаривание	продолжительность обработки, температура обработки, % влажности, количество зон нагрева или охлаждения, характер относительного движения теплоносителя и продукта		
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 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 свойства, состав, плотность
7	Формование	Производительность, Рабочее давление, продолжительность цикла формования, кинематические и конструктивные параметры	Начальная влажность, начальная температура, дисперсность, начальные реологические свойства	+

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.

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

Анализ производства различной кондитерской продукции как объектов автоматизации: шоколада; глазированных помадных и пралиновых конфет; сбивных конфет; халвы; мармелада; карамели; зефира; козинак; драже и ириса (п.п. 1.2.1 – 1.2.10) показали, что качество кондитерских изделий регламентируют со-

ответствующие ГОСТы, Санитарные правила и нормы, Технические регламенты, ISO 11036—2017 «Органолептический анализ. Методология. Характеристики структуры», ГОСТ 5897-90 «Изделия кондитерские. Методы определения органолептических показателей качества, размеров, массы нетто и составных частей», а также Стандарты кондитерских предприятий на кондитерскую продукцию. Данные документы устанавливает методы определения органолептических показателей конфет: их внешнего вида, вкуса, запаха, цвета, размеров и др.

Порядок контроля различных кондитерских изделий в виде структурных схем основных операций производства показан в разделе 1.2 «Исследование и анализ ТП кондитерского производства как объектов автоматизации»

Основные органолептические показатели качества кондитерских изделий были представлены в данной главе на разработанных профилограммах органолептической оценки исследуемых образцов различных типов конфет. Проведенные исследования позволили получить таблицу 1.7, в которой показаны наиболее важные органолептические показатели качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции, контролируемые на каждой стадии производства.

Таблица 1.7.

Определяющие основных 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 1.7 позволил сделать заключение о потребности разработки и внедрения интеллектуальных средств автоматического контроля в режиме реального времени органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых конфет и на их базе создания ИАСКиУК 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.

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 (задачи). 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 интеллектуальной системы управления.

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 том числе органолептических показателей качества кондитерских изделий.

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

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

1.2.4. Повышение качества производимой продукции за счет непрерывного автоматического контроля 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* – подробный анализ возможности повышения эффективности производства позволит составить план по внедрению новых современных 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 автоматического контроля 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 программного обеспечения 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.

3.1.2. Разработать интеллектуальную автоматизированную систему управления качеством выпускаемой продукции. Для этого:

- разработать методы и средства автоматизации принятия управленческих решений;

- привлечь математический аппарат и разработать структурно- параметрические и математические модели основных этапов производства;

- проработать перспективы интеллектуализации системы управления качеством производства 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 интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством кондитерской продукции в процессе производства,

4.1.3. Разработку программно- аппаратного интеллектуального комплекса автоматизированного контроля и управления производством кондитерской продукции.

4.2. Внедрение интеллектуальных технологий в 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 систем компьютерного зрения.

4.2.3. Разработку и внедрение генетических алгоритмов.

4.2.4. Разработку и внедрение мультиагентных технологий.

5. *Повышение квалификации персонала* – данная цель важна, так как с внедрением новых интеллектуальных технологий 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.

5.1.2. Разработку специальных обучающих программ и наладку соответствующих средств и оборудования для обучения персонала.

5.1.3. Подбор высококвалифицированных преподавателей для проведения занятий по обучению.

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

Для понимания целей создания ИАСКиУК кондитерской продукции было разработано дерево целей, представленное на рисунке 1.47.

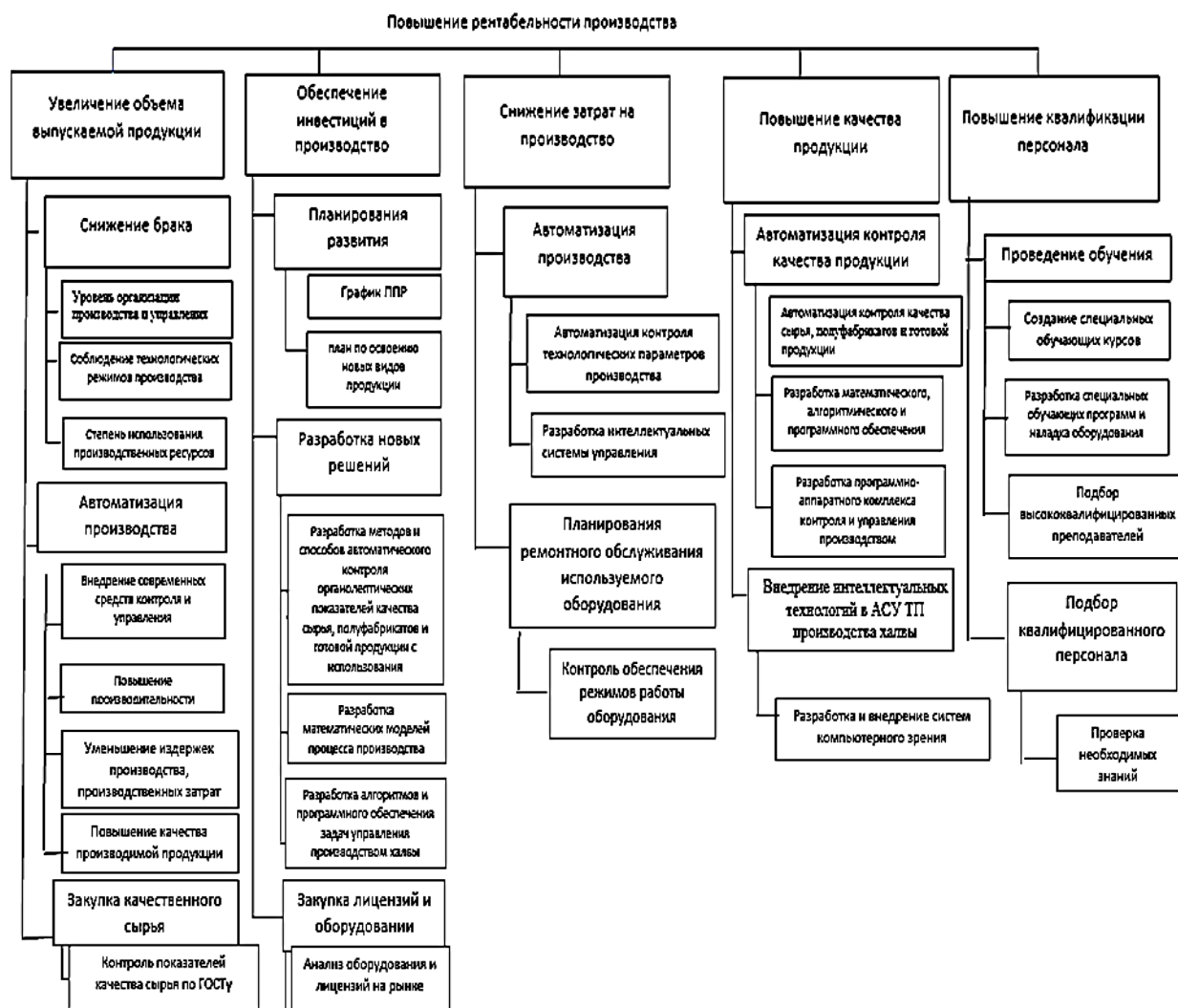


Рис. 1.47. Дерево целей

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 1.48 представлена разработанная системная диаграмма решения проблемы создания ИАСКиУК кондитерской продукции.

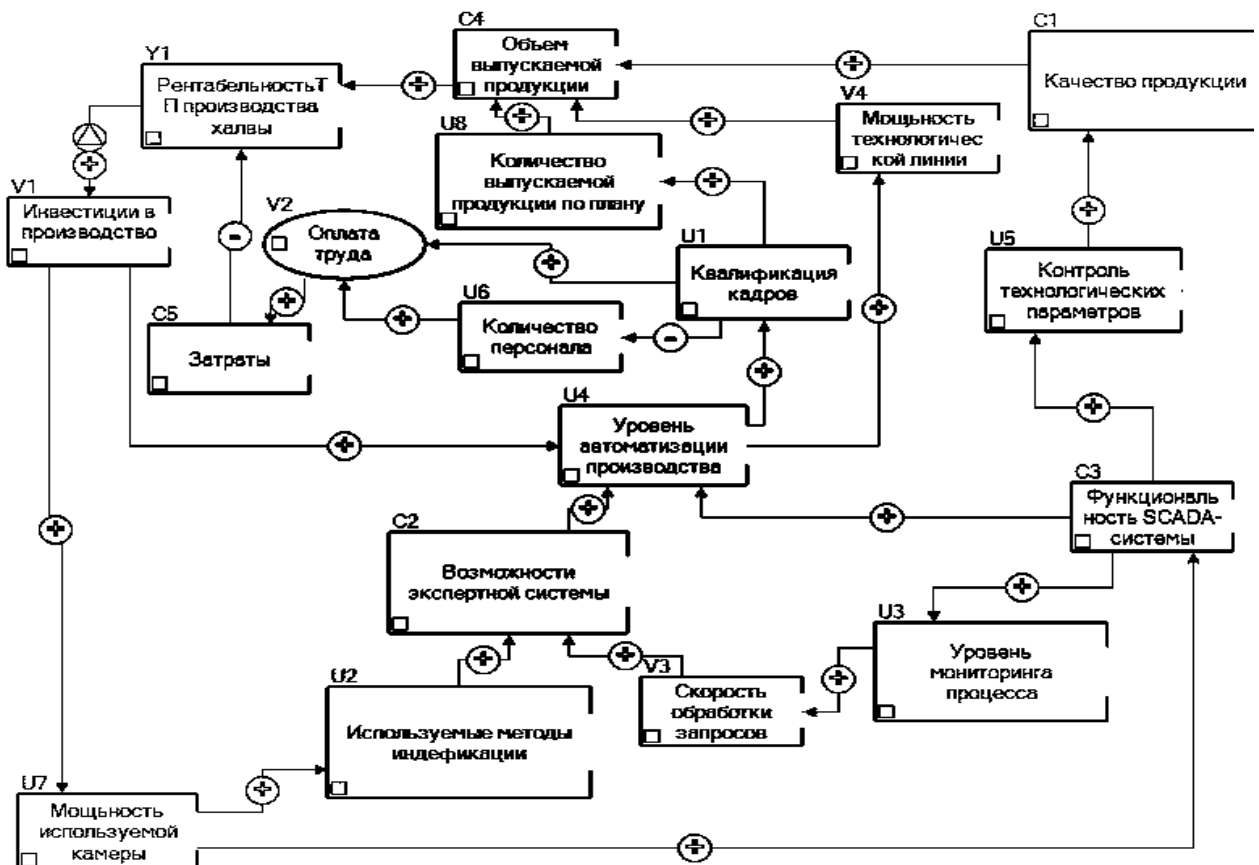


Рис. 1.48. Системная диаграмма решения проблемы создания ИАСКиУК кондитерской продукцией.

(Типы маркеров, указанные слева сверху над блоком: V – множество входных возмущающих параметров; U – множество входных управляемых параметров (варьируемых параметров); C – множество параметров состояния (показателей состояния 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 халвы.

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 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 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 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 контроля технологических параметров, которые влияют на качество выпускаемой продукции.

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

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

Отражение:

$$\begin{aligned}
 \eta_1: \{C_4; C_5\}T_1 &\rightarrow Y_1 \\
 \mu_1: \{U_5; C_3\}T_1 &\rightarrow C_1 \\
 \mu_2: \{U_2; V_3; U_3; U_7; V_1; C_3\}T_1 &\rightarrow C_2 \\
 \mu_3: \{U_7; V_1\}T_1 &\rightarrow C_3 \\
 \mu_4: \{U_8; U_1; U_4; V_1; Y_1; V_4; C_2; C_3\}T_1 &\rightarrow C_4 \\
 \mu_5: \{V_2; U_6; U_1; U_4; V_1; Y_1; C_2; C_3\}T_1 &\rightarrow C_5
 \end{aligned}
 \tag{1.10}$$

где:

T1=Оперативный горизонт управления

T2=Тактический горизонт управления

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

Для повышения эффективности (рентабельности) технологического процесса производства кондитерской продукции необходимо: увеличить инвестиции в производство для внедрения интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством производства кондитерских изделий и увеличения 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 и критериев управления

Стратегическая карта – это диаграмма, отображающая распределенные по аспектам цели и связи между ними, а также критерии их достижения [10]. Стратегические карты предназначаются для стратегического управления: в нашем случае, научным исследованием по созданию интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кондитерской продукции в процессе ее производства. Стратегические карты призваны сосредоточить внимание на наиболее важных сторонах деятельности при создании этой автоматизированной системы контроля и управления.

Для разработки стратегической карты важно знать основную цель исследуемого производства, его видение и стратегию развития.

На рисунке 1.49 представлена разработанная стратегическая карта создания интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кондитерской продукции в процессе ее производства.

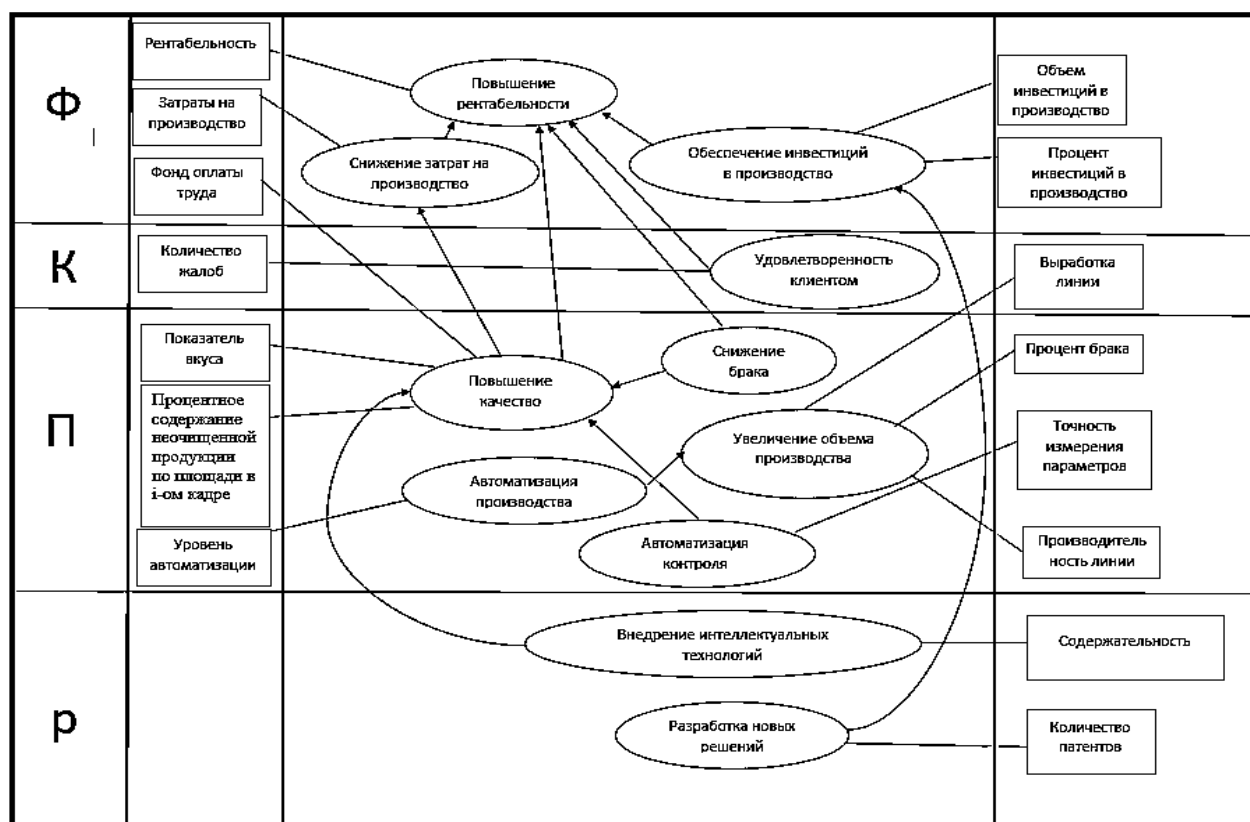


Рис. 1.49. Стратегическая карта создания ИАСКиУК кондитерской продукции

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.

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

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

$$2. \text{ Фонд оплаты труда } Z_T = c(l) \leq \text{Const}R$$

Где: c - зарплата одного сотрудника, l – количество сотрудников, $\text{Const}R$ – бюджет выделенный на оплату труда.

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

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 $K(t) = \frac{\Delta(F_n - F_{n-1})}{12} \rightarrow \max$

где: F_n – объем производства за месяц этого года,

F_{n-1} – 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, Δa – погрешность измерения,

A – заданная величина.

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

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

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

$$11. \text{ Уровень автоматизации } Un = \frac{\sum P_a \text{ПМ}}{\sum P_a \text{КПМ} + P_M + P_p} \rightarrow \max$$

где: $P_{M.p}$ – число рабочих, выполняющих работу при помощи ручного механизированного инструмента; P_p – число рабочих, выполняющих работу вручную; Π – коэффициент производительности оборудования,

M – коэффициент обслуживания, зависящий от количества единиц оборудования; $P_{M.p}$ – число рабочих.

$$12. \text{ Содержательность базы знаний } C = S * K$$

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

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

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.

В рамках этой главы:

- Выявлены, обобщены, систематизированы и проанализированы особенности кондитерской продукции (структура: твердая, желеобразная, аморфная и т.д.). Обоснован выбор наиболее важных для кондитерской промышленности ТП производства различных типов изделий.

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

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

- Проведен всесторонний анализ 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 кондитерской продукции (шоколада; глазированных помадных и пралиновых конфет; сбивных конфет; халвы; мармелада; карамели; зефира; козинак; драже; ириса) на всех этапах их производства.

- Установлено, что применяемые в настоящее время методы оценки органолептических показателей качества субъективны и определяются, в основном, экспертами-дегустаторами путем лабораторного контроля. Отмечены недостатки органолептических методов.

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

- Поставлена задача цифровой трансформации отраслей кондитерской промышленности за счет разработки и внедрения нового поколения интеллектуальных программно-аппаратных комплексов мониторинга, регулирования и управления.

1.8. Задачи исследования

1. Определение органолептических показателей контроля качества сырья, полуфабрикатов и готовых кондитерских изделий.
2. Анализ возможности использования на кондитерских предприятиях новых существующих инструментальных методов и средств контроля в интеллектуальных автоматизированных системах управления качеством кондитерской продукции.
3. Проведение системного анализа методов, алгоритмов и подходов использования технологий искусственного интеллекта для автоматизации контроля в потоке органолептических показателей качества кондитерской продукции.
4. Проведение экспериментальных исследований с целью разработки структурно-параметрических и математических моделей основных этапов ТП производства, принципов и подходов к имитационному и ситуационному моделированию этих ТП.
5. Разработка методики создания цифровых двойников производства кондитерской продукции.
6. Разработка новой линейки персонализированной кондитерской продукции нового поколения с использованием технологий виртуальной, дополненной реальности и кастомизации.
7. Разработка концепции построения интеллектуальных систем на базе гибридных методов и технологий.
8. Внедрение результатов исследования в учебный процесс и научные исследования.

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

2.1. Проблемы 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, 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 технологических параметров процессов производства кондитерских изделий.

Изучение особенностей ТП этих производств показало, что они имеют неустановившиеся режимы с периодической повторяемостью разнородных операций, а используемое оборудование (вечные машины, просеиватели, сепараторы, дозаторы, молотковые мельницы, обкаточные машины, охлаждающие 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, проведенный на высокоавтоматизированных кондитерских предприятиях России, показал, что решение этих проблем непосредственно связано с анализом различных существующих методов, алгоритмов и классов автоматизированных систем управления, оценкой возможностей их практического применения с рекомендацией наилучшего варианта для использования при управлении процессами производства кондитерской продукции.

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

На многих предприятиях кондитерской промышленности более 90% контуров автоматического управления используют ПИД законы регулирования [10, 11]. 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 [86]. 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 поэтому не могут создать оптимальные условия функционирования системы управления.

Дальнейшим шагом развития адаптивных и самонастраивающихся систем управления явилась разработка экстремальных регуляторов [76]. Однако, несмотря на интенсивные исследования по повышению эффективности их работы, эти системы не получили широкого распространения на действующих объектах, поскольку при их исследовании нарушался нормальный режим работы существующих производственных линий, требовалась дополнительная затрата энергии на поиски оптимальных решений [92].

Нами проведен анализ оценки возможностей практического применения беспоисковых самонастраивающихся регуляторов, являющихся основным классом адаптивных систем, для внедрения их на линиях производства различной кондитерской продукции. Но, по поводу практического использования данных систем адаптивного управления в производственных линиях кондитерских предприятий в последнее время появились критические оценки. Обзор и анализ традиционных методов адаптивного управления, подробно описанный в наших статьях [14 – 16] показал, что практическое их использование в реальных условиях производства кондитерских изделий для управления даже одномерными объектами при неконтролируемых возмущениях становится затруднительным.

Перспективным является подход к решению задач автоматизации на основе использования интеллектуальных систем (рисунок 2.1).



Рис. 2.1. Подход к решению задач автоматизации на основе использования интеллектуальных систем

Для многомерных, многоэтапных, многокритериальных динамических объектов, какими являются линии производства кондитерской продукции, трудно реализуемые чисто математически, в условиях неопределенности, наиболее эффективны системы, основанные на искусственном интеллекте [22 – 26]. Поэтому необходимо изучить использование методов искусственного интеллекта в решении задач автоматизации контроля и управления качеством

производства кондитерской продукции с целью выбора наиболее эффективных для решения поставленных задач.

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, 19 – 27, 35, 38, 45, 51, 53 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 [76].

Существует несколько схем классификации интеллектуальных систем. Авторами работ [16, 63] предлагается следующая классификация интеллектуальных систем, представленная на рисунке 2.2.

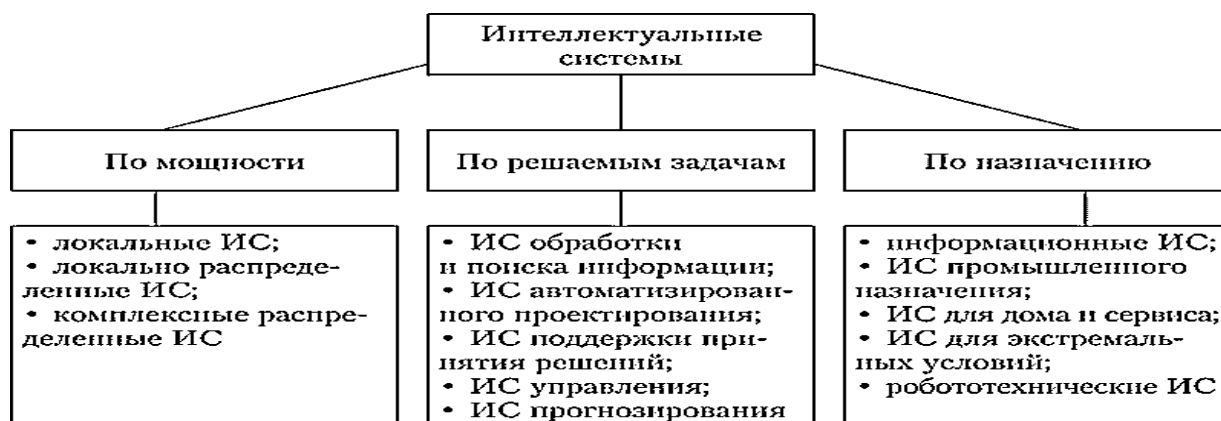


Рис. 2.2. Классификация интеллектуальных систем (1 вариант)

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; рефлексорные; нейронные; генетические и мультиагентные системы [84].

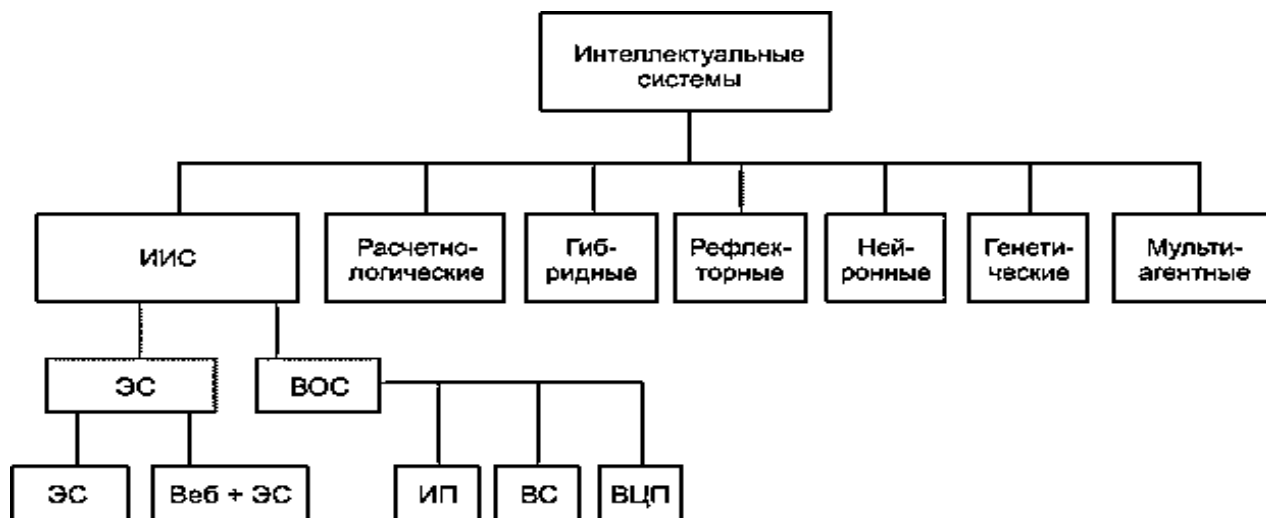


Рисунок 2.3. Классификация интеллектуальных систем (2 вариант)

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 [6]. 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.

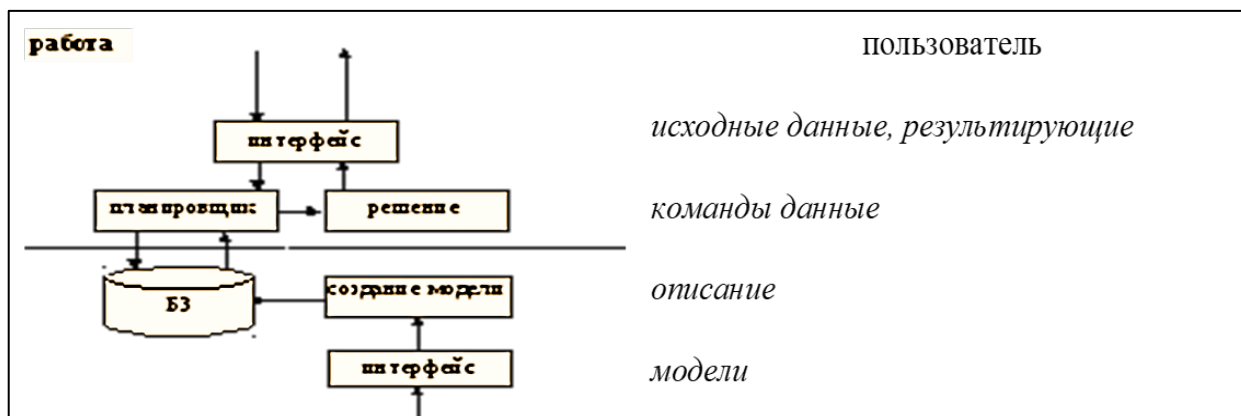


Рис. 2.4. Схема расчетно-логической системы

Функционирование расчетно-логической системы складывается из этапов создания и работы. 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.

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 программу выполняет. Результаты решения передаются пользователю. Для упрощения работы интерфейс может быть выполнен с использованием лингвистического процессора, принципы функционирования которого рассмотрены выше. 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 [53].

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.

3. Интеллектуальная информационная система

Интеллектуальная информационная система (ИИС, intelligent system) — 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 информационной системой данные [66]. В отличие от обычных аналитических и статистических моделей, ИИС позволяют получить решение трудно формализуемых слабо структурированных задач. Направленность ИИС на решение слабо структурированных, плохо формализуемых задач расширяет область применения ИИС.

Интеллектуальные информационные системы можно классифицировать по разным основаниям (рисунок 2.5): по предметной области применения; степени автономности от корпоративной ИС или базы данных; по способу и оперативности взаимодействия с объектом; по адаптивности; по модели представления знаний.

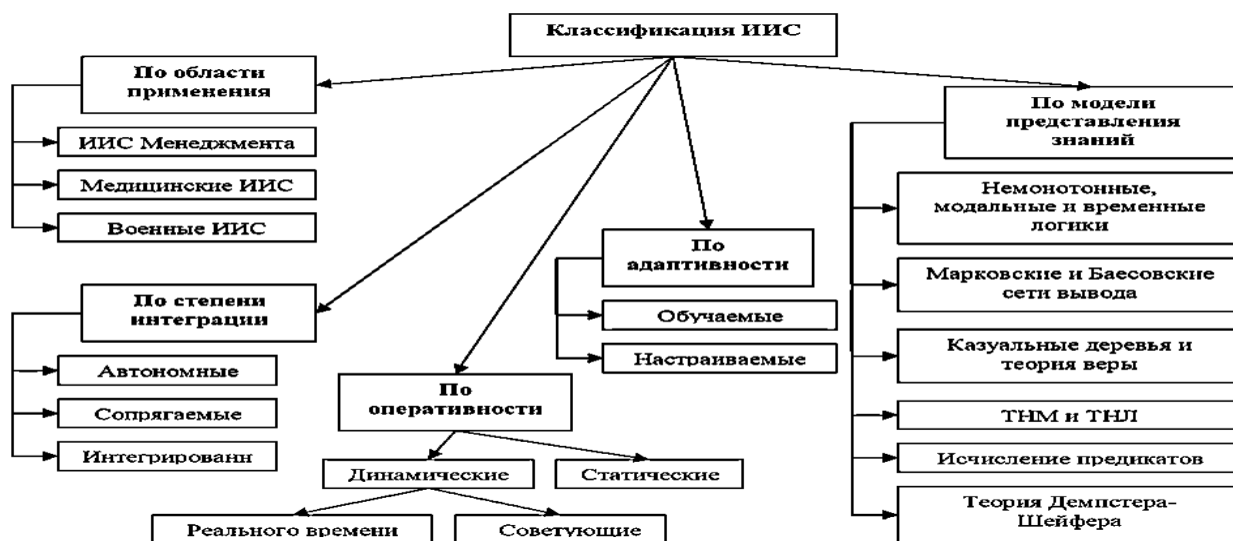


Рис. 2.5. Интеллектуальные информационные системы

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 богатства доступной пользователю информации.

ИИС способны диагностировать состояние предприятия, 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. 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, нечеткие экспертные системы, генетические экспертные системы и т.п.

5. Генетические алгоритмы

Генетический алгоритм (англ. genetic algorithm) — это эвристический алгоритм поиска, используемый для решения задач оптимизации и моделирования путём последовательного подбора, комбинирования и вариации

искомых параметров [8, 86]. Отличительной особенностью генетического алгоритма является акцент на использование оператора «скрещивания», который производит операцию рекомбинации решений-кандидатов, роль которой аналогична роли скрещивания в живой природе. Служит 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 генетических алгоритмов 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;
- оптимизации движения робота, в том числе обучение робота ходьбе.

Происходящие процессы в промышленности требуют постоянной оптимизации, а генетические алгоритмы, 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) [6, 83].

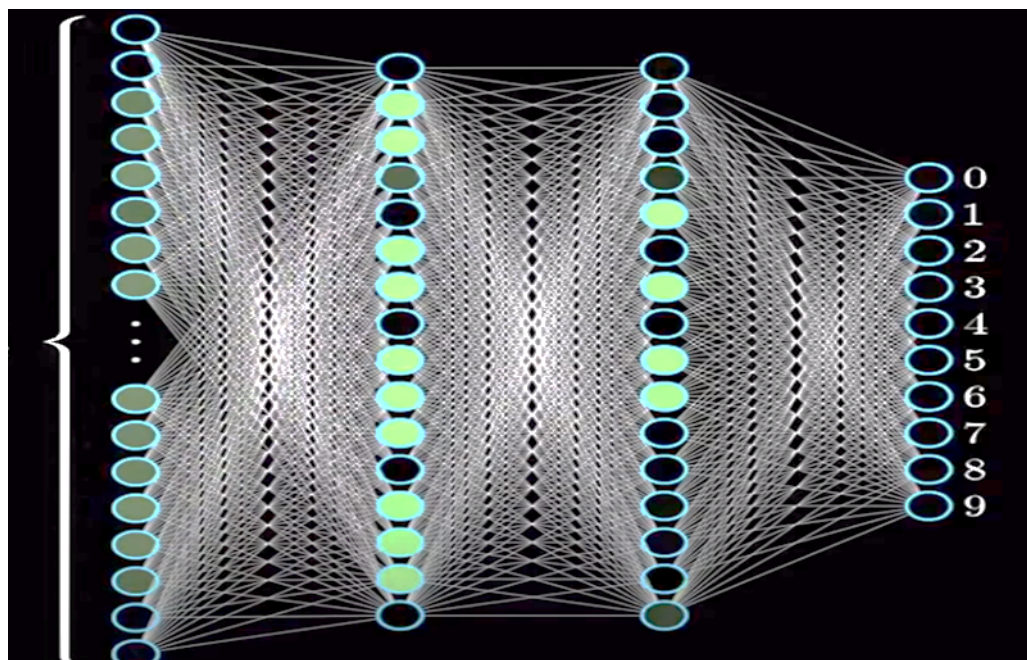


Рис. 2.6. – Нейронные сети

Нейросетевые технологии являются одним из наиболее перспективных направлений развития искусственного интеллекта [73]. 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.

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.

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.

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. [58, 59].

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.

Кроме описанных выше интеллектуальных систем, активно развиваются также следующие взаимосвязанные интеллектуальные системы: робототехника, системы компьютерного зрения, экспертные системы и др.

Как показал анализ, одним из наиболее важных и перспективных направлений искусственного интеллекта являются интеллектуальные информационные системы.

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

Интеллектуальные информационные системы 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 [6, 11]. 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, базз знаний, интерпретатор правил, машина вывода, компоненты объяснения и естественно языкового интерфейса, обеспечивающие связный диалог пользователя и системы с попеременным переходом инициативы [37].

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 [32 – 36].

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* [84].

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. Под интерпретацией понимается процесс определения смысла данных.
- Диагностика. Под диагностикой понимается процесс обнаружение неисправности в некоторой системе, 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 на создание «объектов» с заранее определёнными свойствами. Под спецификацией понимается весь набор необходимых документов—чертёж, пояснительная записка и т.д.
- Прогнозирование. Прогнозирование позволяет предсказывать последствия некоторых событий или явлений 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 с вероятностными оценками.
- Планирование. Под планированием понимается нахождение планов действий, относящихся к объектам, способным выполнять некоторые функции. В таких ИИС используются модели поведения реальных объектов с тем, чтобы логически вывести последствия планируемой деятельности.
- 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. Поддержка принятия решения — это совокупность процедур, обеспечивающая лицо, принимающее решения, необходимой информацией и рекомендациями, облегчающие процесс принятия решения. Эти ИИС помогают специалистам выбрать и/или сформировать нужную альтернативу среди множества выборов при принятии ответственных 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 интеллектуальных технологий и систем в решении задач интеллектуализации кондитерской промышленности

Обзор интеллектуальных информационных технологий (пп.2.1 – 2.3.) позволил выделить 6 базовых наиболее перспективных технологий ИС для решения задач интеллектуализации контроля и управления качеством производства кондитерской продукции. Это:

- Нейросетевые системы управления
- Генетические алгоритмы
- Экспертные системы
- Системы компьютерного зрения
- Мультиагентное имитационное моделирование

Нейросетевые системы управления относятся к классу нелинейных динамических систем. Это частный случай интеллектуального управления, использующий искусственное управление динамическими объектами. Как показали исследования [21 – 28], нейронные сети (НС) обладают рядом уникальных свойств,

которые делают их мощным инструментом для создания систем контроля и управления: способность к обучению на примерах и обобщению данных. Известны многочисленные примеры их практического применения для контроля и управления различными объектами. НС не программируются, они обучаются.

Возможность обучения — одно из главных преимуществ нейронных сетей перед традиционными алгоритмами (рисунок 2.7)

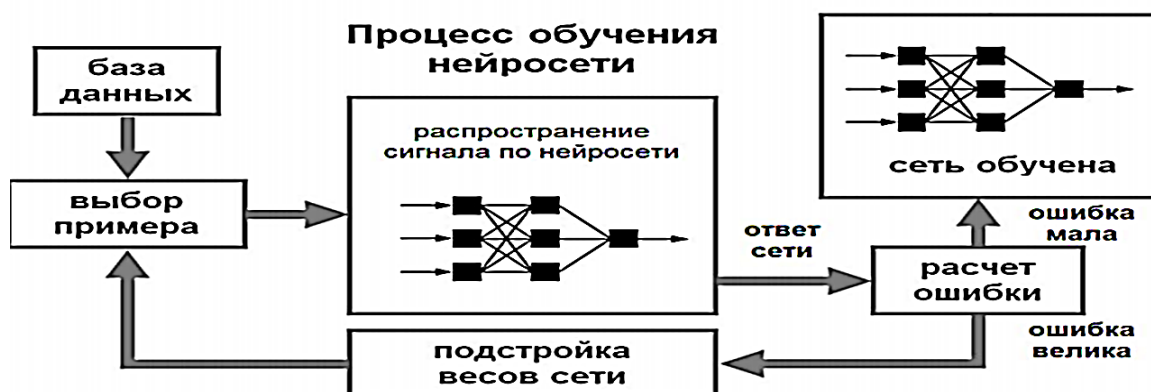


Рис. 2.7. Обучение нейронной сети

Технически обучение заключается в нахождении коэффициентов связей между нейронами. В процессе обучения нейронная сеть способна выявлять сложные зависимости между входными данными и выходными, а также выполнять обобщение [7, 12, 26, 36, 38, 40, 46, 51, 55, 67, 73].

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, использования нейросетей в системах контроля и управления объектов кондитерского производства с применением обучаемых многослойных нейросетей в настоящее время остается по-прежнему актуальным [37 – 41]. 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 достоинствами, как высокое быстродействие, относительно небольшие затраты на разработку. Они имеют небольшое время принятия решения, что нередко делает их более 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 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.

Генетические алгоритмы

На сегодняшний день появилось большое количество разных новых интеллектуальных технологий, методов и систем управления.

Помимо изменения состава АИС изменились основные подходы к их проектированию. Раньше для каждой новой системы создавалось уникальное программное обеспечение. В таких условиях вопрос об оптимизации систем вызывал интерес лишь с научной точки зрения. На сегодняшний день ситуация изменилась. Имеется широкий выбор технических средств реализации поставленных задач, широкий выбор информационной поддержки. Одновременно с возможностью выбора средств реализации, ставятся существенные ограничения на финансирование. Поэтому на сегодняшний день задача оптимизации автоматизированных систем контроля и управления является актуальной задачей, имеющей практическое значение, что подтверждается постоянно высоким числом научных работ, посвященных проблеме оптимизации систем обработки информации [78 – 84].

Задача оптимизации структуры автоматизированных систем обработки информации различны. В связи с этим выбор метода оптимизации таких систем в общем случае является трудоемкой и неоднозначной задачей. Обзор и анализ литературы в этой области показывает весьма ограниченную применимость существующих методов, допускающих многокритериальность оптимизации, инвариантность к виду оптимизируемых функций, не зависящих от конкретных особенностей рассматриваемой системы.

Как показал обзор и анализ публикаций, на сегодняшний день одним из наиболее часто и эффективно используемых интеллектуальных технологий в различных областях является метод, известный под названием "генетические алгоритмы" (ГА). В отличие от других оптимизационных процедур поиск лучшего варианта в ГА осуществляется не путем улучшения одного решения, а путем использования сразу нескольких альтернатив на некотором множестве решений.

ГА в своей основе реализуют задачу оптимизации по аналогии с тем, как в природе происходит естественный отбор. Его суть состоит в том, что более при-

способленные особи имеют больше возможностей для выживания и размножения и, следовательно, приносят большие потомства, чем плохо приспособляемые. При этом, благодаря передаче генетической информации, потомки наследуют от родителей их основные качества. Таким образом, потомки сильных особей будут приспособлены сильнее, а их доля в общей массе будет возрастать. После смены нескольких поколений приспособленность особей данного вида среди всех прочих заметно возрастет.

ГА — это последовательность управляющих действий и операций, моделирующая процессы развития на основе аналогов механизмов генетического наследования и естественного отбора.

Во многом генетические алгоритмы похожи на классические методы оптимизации. Популяция — это набор текущих решений, мутация — это исследование этих решений и выбор наилучшего варианта, отбор — это выбор нового решения из предложенных вариантов и дальнейший поиск оптимального решения в условиях ограниченных вычислительных ресурсов.

Достаточно эффективно использование ГА получается при решении задачи интеллектуального управления с самонастройкой. В этом случае ГА используется для настройки коэффициентов ПИД - регулятора по достижении оптимальной траектории переходного процесса регулятора [8, 34].

Таким образом, для решения задачи управления ТП производства кондитерской продукции генетический алгоритм целесообразно использовать, если задана некоторая сложная целевая функция, зависящая от нескольких переменных и имеется имитационная модель исследуемого производства. И требуется решить задачу оптимизации, т.е. найти такие значения переменных, при которых значение функции максимально или минимально.

Анализ решаемых ГА задач показал, что достаточно эффективно их использование также при решении следующих задач: технического проектирования новых интеллектуальных систем контроля и управления; оптимизации этих

систем; автоматического программирования и тестирования программного обеспечения этих систем; выбора структуры и параметров искусственных нейронных сетей;

Актуальность развития и создания *экспертных систем* в настоящее время несомненна [6, 16, 27, 32, 39 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 [39, 50]. Проведенный обзор и анализ работ по ЭС показал, что разработанная экспертная система может стать серьезной 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.

Управляющая ЭС может применяться как для целей контроля, так и для диагностики, прогнозирования и управления [6, 53, 60, 82]. Существует ряд прикладных задач, которые решаются с помощью экспертных систем, основанных на знаниях, более успешно, чем любыми другими средствами [6, 61, 62, 82].

Построение интеллектуальных систем управления (ИСУ) с использованием ЭС обычно не требует проведения большого количества экспериментов в процессе обучения. На рисунке 2.8 представлена типовая схема ИСУ с экспертным регулятором (ЭР), в которой ЭС оптимизирует работу системы. Здесь ЭС

содержит, например, три модуля: прогнозирования, анализа состояния, выбора назначения и параметров стратегии управления.

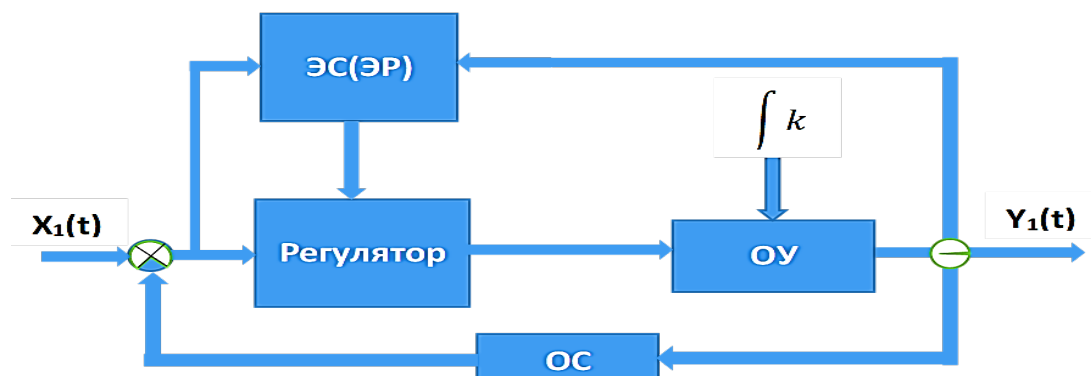


Рисунок 2.8. Типовая схема с экспертным регулятором

Такая схема может найти применение, например, для управления гибкой системой производства (ГСП) на линиях с различными видами кондитерских изделий, где $X_1(t)$ - совокупность заказов на различные виды изделий, $Y_1(t)$ - совокупность произведенного конечного продукта. Для ГСП характерны признаки: частая вариация $X_1(t)$, 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.

Системы компьютерного зрения

Важную часть в области искусственного интеллекта занимают *системы компьютерного зрения (СКЗ)* [3, 9, 23, 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 [25, 60, 61, 198, 205, 217].

Применение систем компьютерного зрения охватывает различные области деятельности, включая, следующие:

- крупные промышленные производства различных отраслей промышленности;
- ускоренное производство уникальных продуктов;
- автоматизация контроля безопасности, возможность создания автономных систем на основе компьютерного зрения в промышленных условиях;
- автоматизация контроля качества продукции и инспекция продуктов питания; полное исключение человеческого фактора при автоматическом контроле органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий;
- системы визуального контроля и управления (учет, считывание штрих-кодов);
- системы организации информации (например, 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, робототехнические системы).

Области применения

Системы СКЗ, позволяют решать множество *задач*, которые условно можно разделить на четыре группы: распознавание положения, измерение, идентификация и инспекция [229, 239, 248].

В большинстве практических применений СКЗ компьютеры предварительно запрограммированы для решения отдельных задач. Но методы, основанные на знаниях, становятся все более общими. 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.

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, 60, 61]. 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

Обзор характеристик систем имитационного моделирования			
Характеристика	Система		
	AnyLogic 6.3.1	Arena 12.0	Simulink 7.2
Производитель	ООО «Экс Джей Текнолоджис» (XJ Technologies)	Rockwell Automation Inc (Systems Modeling)	MathWorks Inc
Области применения	Прогноз и стратегическое планирование. Производство. Бизнес-процессы. Управление проектами. Управление персоналом. Социальная динамика	Бизнес-процессы. Производство. Логистика. Склад. Центры обработки вызовов	Обработка сигналов и изображений. Системы управления, финансовые расчеты. Производство. Медицинские исследования
Язык интерфейса	русский	английский	английский
Поддержка/обучение: – Руководство пользователя, учебные пособия – Обучающие курсы – Тренинг на сайте – Доступность консультации – Форум пользователей	+ + + + +	+ + + + +	+ + + + +
Построение модели: – Графическое построение модели – Программирование/ доступ к запрограммированным модулям – Язык программирования – Открытая архитектура	+ + AnyLogic +	+ + SIMAN +	+ + MATLAB +
Иерархическая структура производственного процесса	+	±	+
Анимация: – Анимация модели и визуализация данных – 3D анимация – Просмотр в режиме реального времени	+ + +	+ + +	+ + +
Анализ данных: – Анализ чувствительности – Оптимизация – Метод Монте-Карло – Сценарный анализ	+ + + +	+ + + +	+ + + +
Системные требования: – Операционная система – Аппаратные требования	Microsoft Windows XP/Vista, Apple Mac OS, SuSE Open Linux, Ubuntu Linux. 250 MB свободного дискового пространства 1 GB RAM.	Microsoft Windows 2000/ Server 2003/ XP/ Vista. 128 MB свободного дискового пространства 1GB RAM.	Microsoft Windows XP/Vista, Macintosh, Unix/Linux, 300 MB свободного дискового пространства 1GB RAM.

Гибридная интеллектуальная система (ГИС)

Гибридная интеллектуальная система – это система, которая 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.

Гибридные интеллектуальные системы — это системы, которые при ре-

шении задач используют параллельно несколько различных методов искусственного интеллекта.

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 интеллектуализации кондитерской промышленности показал эффективность экспертных систем (ЭС); искусственных нейронных сетей (ИНС); генетических алгоритмов (ГА); мультиагентных имитационных моделей и систем. И др.

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 осуществить эффективное управление качеством производства кондитерских изделий. Их основная задача – повышение эффективности технологических процессов производства выпускаемой кондитерской продукции. Внедрение ИАС позволяет предприятиям:

- повысить качество выпускаемой продукции, снизить брака;
- увеличить производительность труда и сократить численность персонала;
- усовершенствовать управление технологическими процессами 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, генетические алгоритмы, экспертные системы, системы компьютерного зрения и имитационные модели позволяют решать сложные задачи 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 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 нейросетевых технологий, генетических алгоритмов, системы технического зрения, имитационных моделей и эффективного сочетания этих методов и технологий.

2.4. Выводы по 2 главе.

Во второй главе проведен системный анализ методов, алгоритмов и технологий с точки зрения возможности и эффективности их использования при разработке интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством 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 автоматизированной интеллектуальной системы контроля и управления качеством кондитерских изделий с применением искусственного интеллекта, включающего в свой арсенал нейросетевые технологии, генетические алгоритмы, динамическую экспертную систему, системы компьютерного зрения, имитационное моделирование и эффективное сочетание этих методов.

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

Рассмотрены особенности, признаки, функции и специфика использования интеллектуальных информационных систем.

Проведен анализ возможности применения методов искусственного интеллекта в решении задач интеллектуализации контроля и управления качеством производства кондитерской продукции.

Проведен анализ перспективности использования нейросетевых технологий, генетических алгоритмов, экспертных систем, систем компьютерного зрения и мультиагентных имитационных моделей в решении задач интеллектуализации контроля и управления качеством производства кондитерской продукции. Показаны перспективы интеллектуализации системы контроля и управления качеством производства этих изделий с использованием гибридных методов этих технологий.

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), как динамически изменяющуюся систему свойств (подкачеств) [173, 203, 212]. В некоторых работах [204] 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, обуславливающих 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, 75]: «Качество - это совокупность характеристик объекта, относящихся к его способности удовлетворять установленные и предполагаемые потребности». В ГОСТ Р ИСО 9000-2011 указано, что «качество - 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, 75, 173, 218].

В 50- 60 годы появилось понятие «quality control» (QC), а чуть позже «total quality control» (TQC) – полное управление качеством, а еще позже – «total quality management» (TQM) – всеобщее управление качеством [2].

Всеобщее управление качеством – концепция, предусматривающая всестороннее, целенаправленное и хорошо скоординированное применение методов и систем управления качеством во всех сферах деятельности при рациональном использовании технических возможностей. Согласно работе [39, 95] всеобщее управление качеством – «это не теоретическая дисциплина, а технология руководства процессом повышении качества».

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 [54].

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 [96].

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 у 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 [96, 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 [9]. Основными методами исследований ТАС является математическое и имитационное моделирование [2, 39, 95, 135, 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 большей степени от адекватности моделей реальным технологическим процессам, удачного выбора критерия качества и от рациональной модели организации информационного обеспечения, хранения и обработки производственных данных.

Существующие 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 продукции 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 основе интеллектуальных систем автоматического контроля качества.

Основой интеллектуальной системы контроля является система датчиков или сенсоров - это "нервная система" интеллектуальной структуры. Она контролирует состояние производства кондитерской продукции. В идеале датчики должны обнаруживать любые изменения контролируемых параметров.

Анализ работающих на кондитерских предприятиях АСУТП показывает, что системы управления (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 управляющие сигналы на исполнительные механизмы в соответствии с заложенным алгоритмом (рисунок 3.1) . Оператор осуществляет управление оборудованием по средствам НМИ.



Рис. 3.1. Система управления на базе промышленного логического контроллера

Изученные схемы автоматизации поточных линий производства 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 схема управления качеством производства, способствующая автоматическому контролю в потоке органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых конфет с использованием интеллектуальных технологий.

К существующим на кондитерских предприятиях системам управления относятся ERP, MRP, MRPII системы, а так же системы бухгалтерского и других видов учета. Следующим уровнем являются АСУ Пр – системы управления производством, к которым относятся MES-системы. Данные системы построены на программируемых логических контроллерах и средствах HMI (Human-Machine Interface: человеко-машинный интерфейс)

Несмотря на значительный прогресс в использовании на кондитерских предприятиях современных аппаратных (Hardware) и программных (Software) 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 (контроль показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых конфет осуществляется органолептическими методами, вручную, в лабораторных условиях). Следовательно, существующая ситуация не позволяет отечественным кондитерским предприятиям составить конкуренцию западным компаниям. Поэтому актуальной задачей является модернизация системы управления технологическими линиями производства конфет с использованием высокоэффективных интеллектуальных технологий.

Таким образом, магистральным направлением повышения эффективности производства кондитерских изделий является разработка и внедрение средств автоматического контроля в потоке в режиме реального времени органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых конфет и создание на их базе интеллектуальных 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, 230, 235].



Рис. 3.2. Лаборатории кондитерских предприятий с экспертами

Лаборатории кондитерских предприятий (рисунок 3.2) выполняют два вида контроля: технохимический и органолептический. При осуществлении технохимического контроля используются различные физические методы [определение содержания сухих веществ с помощью рефрактометра, определение относительной плотности продукта, электрометрический метод определения концентрации ионов водорода (показатель рН) и другие] или химические методы (например, определение кислотности, редуцирующих сахаров и т. д.).

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 орехов и семян подсолнечника производится:

1. Отбор проб – по ГОСТ 10852-86.
2. Определение размера семян или орехов (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 семян подсолнечника или орехов (цвет, запах, вкус, размеры и хруст) осуществляют согласно Межгосударственному стандарту «ГОСТ 22391-2015 «Семена. Технические условия» в лабораториях кондитерских предприятий. Заготавливаемые и 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. 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 соответствии с существующей классификацией органолептических показателей [208, 244, 245] в настоящее время *цвет* оценивается с помощью зрения человека. При определении цвета

экспертная комиссия устанавливает различные отклонения от цвета, специфического для данного вида дисперсной массы. В настоящее время на кондитерских предприятиях цвет сырья, полуфабрикатов и готовых изделий определяют органолептическими методами с помощью экспертов.

Запах определяют в целых или размолотых семенах. Свежие семена обладают слабым, свойственным им запахом [173, 203, 212].

Результаты оформляют в виде таблицы 3.1 «Определение размера, запаха и вкуса сырья: семян подсолнечника, орехов».

Органолептические показатели семян подсолнечника или орехов

Таблица 3.1

Сорт ядер (орехов, подсолнечника)	Цвет	Запах и вкус	Размер	Соответствие ГОСТ

Также, как отмечалось ранее, контролируемые показателями качества семян подсолнечника или орехов являются внешний вид, влажность, содержание жира и коэффициент извлечения примесей (засоренность, %). Определение % сорной примеси в семенах подсолнечника производится в соответствии с ГОСТ 10854-2015 «Семена масличные. Методы определения сорной, масличной и особо учитываемой примеси» с использованием лабораторных методов».

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

Внешний вид, вкус и запах — важнейшие показатели качества любых кондитерских продуктов. У продуктов может присутствовать посторонний *запах* (прогорклый, гнилостный, плесневелый), который изменяет качество продукта, а также может сделать продукт непригодным к использованию [173]. Интенсивность запаха зависит от количества выделенных из продукта летучих веществ. Для улучшения восприятия запаха эксперты обычно увеличивают поверхность летучих веществ или повышают температуру исследуемого изделия [204].

Каждый продукт имеет свойственную ему *консистенцию*, ее проверяют легким прощупыванием, нажатием, надавливанием, размазыванием, прокалыванием. С помощью осязательных ощущений можно получить представление об упругости охлажденных кондитерских масс, их консистенции [171, 212].

Форма полученных конфет определяется визуально. Деформация конфет не допускается.

Структура конфет также определяется органолептическим методом 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, глазированные конфеты различных видов и т.д.), который также определяется в настоящее время экспертами при осмотре готовых изделий.

Потребительские методы применяются для маркетинговых исследований и при разработке новых продуктов.

В кондитерской промышленности при органолептической оценке качества кондитерских изделий используются разные средства оценки. На ряде предприятий широко применяется балльная система оценки качества.

Для того чтобы сделать органолептическую оценку более объективной, для некоторых кондитерских продуктов введена балльная оценка. При балльном способе оценки качества органолептические показатели оцениваются определенным количеством баллов, после чего результаты суммируются. Сумма всех баллов выражает общую оценку готовых кондитерских продуктов.

Оценка запаха и вкуса кондитерских изделий производится по 5-балльной шкале.

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, 241]. Недостатками органолептического метода являются его субъективность и невозможность быстрой оценки качественных показателей сырья, полуфабрикатов и готовой продукции [61].

Результаты оценки показателей качества не возможно использовать в интеллектуальных системах управления производством кондитерской продукцией.

В соответствии с регламентом, установленным на большинстве предприятий, органолептический контроль проводится один раз в смену, что может привести к пропуску брака. Проведенные исследования и анализ линий производства кондитерских изделий различных типов как объектов автоматизации (п.1.2) показали необходимость внедрения интеллектуальных технологий в кондитерскую промышленность. При этом необходимо внедрение на кондитерских фабриках средств автоматического контроля в потоке органолептических показателей качества кондитерских изделий и разработка на их базе интеллектуальных систем контроля и управления, 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 сырья, полуфабрикатов и готовой продукции, а также даст возможность использовать такую систему для прогнозирования качества готовой продукции и для интегрирования ее в существующие на кондитерских предприятиях АСУТП [11, 12, 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 ИАСКиУК кондитерской продукции необходимо знать наиболее важные показатели органолептической оценки кондитерской продукции и концентрировать автоматические средства их контроля в ее наиболее уязвимых частях производства. Это - существенная особенность проектирования интеллектуальной системы. Анализ представленных в работе исследований (глава 1 п.п. 1.2 и 1.4), а также полученные профилограммы органолептической оценки исследуемых образцов различной кондитерской продукции дали возможность выбрать и обосновать наиболее информативные органолептические показатели качества.

В настоящее время все эти показатели определяются органолептическими методами в лабораторных условиях. Как было отмечено в п.3.1.6, длительность отбора и анализа образцов не позволяют использовать имеющиеся лабораторные методы для создания интеллектуальных систем контроля и управления качеством кондитерской продукции.

Поэтому следующей задачей являлось проведение обзора существующих новых инструментальных методов и средств контроля и оценка возможности их использования в интеллектуальных системах управления качеством 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 различных инструментальных методов и средств контроля органолептических показателей качества сырья и пищевых масс в различных отраслях промышленности.

Показано, что наиболее информативными органолептическими показателями качества сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции, которые необходимо контролировать в режиме онлайн в процессе производства являются: *вкус; запах; внешний вид, включающий коэффициент извлечения примесей, размер, состояние поверхности готовых конфет, в том числе блеск или текстуру поверхности.*

Была проведена оценка новых инструментальных систем контроля этих органолептических показателей качества продукции и оценена возможность их использования в разрабатываемой интеллектуальной системе.

Вкус При формулировании задачи автоматизации контроля показателей вкуса сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции, проведен обзор и анализ новых методов, разработанных для решения аналогичных задач в различных отраслях промышленности.

Применение методов газо-жидкостной хроматографии

Попытки воспроизведения органов определения вкуса и обоняния человека с применением физико-химических методов и электронных устройств предпринимались многими исследователями. Из множества решений, описанных в различных источниках [173, 203, 204, 212], 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 около сенсорном пространстве или на его поверхности, в физический сигнал в реальном масштабе времени.

Информация о вкусе пищевого сырья может быть получена косвенно на основе сведений о его плотности, коэффициенте преломления, направлении поляризации и растворимости в разбавленном этиловом спирте [24,25, 60, 189].

В последнее время наблюдается значительное расширение использования методов оценки качества многих вкусовых веществ на основе газо-жидкостной хроматографии [218]. 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 специалист по контролю качества должен подтвердить данные инструментальных методов результатом органолептического испытания, выполненного в лабораторных условиях. Окончательное суждение о вкусе любой массы в настоящее время базируется на данных эксперта-дегустатора или дегустационной комиссии.

В лаборатории химических сенсоров Санкт-Петербургского государственного университета был разработан прибор для оценки вкуса, получивший название «электронный язык» [61, 189]. Принцип действия прибора основан на использовании потенциометрических химических сенсоров, ионоселективных электродов. 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 используются различные математические методы, позволяющие интерпретировать многомерный отклик массива сенсоров. Одним из таких методов является 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**. Для использования «электронного языка» необходимо подготавливать пробу для анализа. Подготовка пробы занимает определенное время и делает невозможным использование представленного метода в поточной автоматизированной 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 методы, способы, алгоритмы, математическое и программное обеспечение создания виртуальных датчиков контроля в потоке вкуса пищевых масс с использованием нейросетевых технологий. Показана перспективность их использования в условиях действующих предприятий кондитерской, мукомольной, молочной и пивобезалкогольной промышленности [11, 12, 25, 60, 61].

Приборы на базе пьезорезонансных сенсоров используются для определения ароматобразующих веществ в некоторых пищевых продуктах, таких как кофе, коньяк, хлебобулочные изделия и др. Однако для перехода к следующему измерительному циклу через систему требуют применения промывочного агента (например, пары этилового спирта) с целью удаления пахучего вещества с поверхности или из объема активной части материала сенсора. Поэтому предлагаемый метод для автоматического контроля вкуса пищевых масс в потоке в реальном времени не применим.

Анализ других имеющихся исследований выявил, что в качестве автоматизированного метода контроля запаха, например, ликерных конфет, можно использовать электронный нос, который позволяет сформировать массив сенсоров анализатора газов «МАГ-8» для измерения состава легколетучей фракции аромата полупродуктов кондитерского производства (кондитерская глазурь, сливочная, ореховая и шоколадная начинки) [240]. Однако, электронный нос — электронный *лабораторный* прибор, предназначенный для определения запахов или привкусов. Эти устройства прошли серьезное развитие и используются в лабораториях промышленных предприятий. В процессе конширования изучена динамика формирования аромата полупродуктов кондитерского производства в присутствии пищевых ароматизаторов. Для каждой задачи подбирается

индивидуальные набор сенсоров и алгоритм обработки информации (в пределах компьютерной универсальной программы). Используемый способ контроля позволяет обеспечить оптимальное содержания ароматизаторов в кондитерской глазури и кондитерских массах с применением анализатора газов «МАГ-8» типа «электронный нос»,

Описанный анализатор позволяет определять аромат продукта. Однако для использования «электронного носа» необходимо подготавливать пробу для анализа. Подготовка пробы занимает определенное время и делает невозможным использование представленного метода в поточной автоматизированной линии производства кондитерской продукции.

Лабораторией инновационно-технологического центра группы компаний «СОЮЗСНАБ» разработаны способы объективной инструментальной дегустации аромата по программе «электронный флейворист», установление фальсификатов [189]. Возможно осуществлять в масштабе промышленных производств: распознавание искусственного и натурального аромата конфет; способ оценки качества промышленных ароматизаторов; способ оптимизации на стадии дозирования ароматизаторов. Однако новые способы предназначены для работы в лабораториях предприятий.

Электронный нос для идентификации запахов создан фирмой PSCA Technologies Sri, Италия [240]. В состав данного интеллектуального «электронного носа» входит 10 различных металлооксидных датчиков, которые реагируют с потенциальными химическими соединениями, дающими запах и позволяющих измерять уровень запаха (единицы запаха/м³), отслеживать различные запахи по принципу «отпечатков пальцев». Основная область применения прибора – охрана окружающей среды или экологический мониторинг (PEN3-Meteo), а также контроль качества пищевых продуктов.

Анализатор OlfoSense - это новый «электронный нос» для мониторинга окружающей среды, позволяет мониторить в режиме реального времени запах

(единицы запаха/м³) окружающей среды [204]. 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.

Внешний вид

Проведенные исследования показали, что внешний вид сырья или готовых кондитерских изделий включает % примесей в сырье, целостность сырья и изделий, цвет, форму изделия, размер, состояние поверхности, в том числе блеск или текстуру поверхности [35, 123 - 125].

Нами были рассмотрены и проанализированы существующие методы и приборы для определения размеров (фракций) и форм частиц в различных отраслях промышленности (фармацевтической, горной, строительной, металлургической и др.).

Обзор и анализ существующих современных инструментальных методов и средств контроля размера дисперсных масс (сыпучих материалах) показал нецелесообразность использования существующих инструментальных методов для автоматизации контроля в потоке размера сыпучих дисперсных масс и необходимость использования для этих целей высокоэффективных интеллектуальных технологий.

Цвет сырья, полуфабрикатов и готовой пищевой продукции

Цвет является важным органолептическим показателем качества для реализации его непрерывного контроля в режиме реального времени.

В настоящее время для определения цвета все чаще в лабораториях применяют различные физико-химические методы анализа: рефрактометрический, спектрофотометрический и другие методы, которые позволяют с помощью лабораторных приборов отслеживать изменение цвета, например, семян подсолнеч-

ника на этапе подготовки сырья к дальнейшему производству и косвенно по полученным данным судить о качестве подготовленного к производству сырья [9, 105]. 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.Н. Дроханова и А.Е. Краснова [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 основе видеокамеры с черно-белой ПЗС-матрицей и светодиодов. При этом за основу взят опыт спектральной аэрокосмической съемки. В монографии [6] описаны современные перспективные экспресс-методы оперативного контроля качества продуктов питания, которые разрабатываются в РФ и за рубежом.

Обзор и анализ существующих средств контроля цвета, [25, 60, 61, 68, 73, 77 и др.] показал, что применяемые методы и приборы для контроля цветности являются, в основном, автоматизированными лабораторными приборами для экспресс-контроля пищевых сред и готовых продуктов, требующими время на подготовку проб и проведение анализов. В изученных работах не уделяется достаточного внимания методам и средствам автоматизации контроля органолептических показателей качества, позволяющим получать непрерывно в ходе производства данные об органолептических показателях сырья, полуфабрикатов и готовой пищевой продукции в цифровом виде.

В тоже время, вызывают интерес разработки ученых кафедры «Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами» ФГБОУ ВПО «Московского государственного университета пищевых

производств» (ныне РОСБИОТЕХ) на основе методов автоматического контроля в потоке цвета пищевых продуктов с использованием систем компьютерного зрения (помадные конфеты, творог, гранулированные комбикорма) [6 - 8, 25, 60, 199, 200 241]. Показана эффективность и перспективность их использования на предприятиях кондитерской, муковольной, молочной и пивобезалкогольной промышленности. Однако использовать их в кондитерской продукции не представляется возможным.

Проведенный обзор показал также отсутствие высокоэффективных интеллектуальных средств автоматизации контроля в потоке таких важных органолептических показателей качества, как коэффициент извлечения примесей в сырье, целостность сырья, форма изделия, состояние поверхности, в том числе блеск или текстура поверхности.

При этом магистральным направлением повышения эффективности производства кондитерских изделий является разработка и внедрение интеллектуальных средств автоматического контроля в потоке в режиме реального времени органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых конфет и создания на их базе интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством.

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 функционированием производства кондитерских продуктов в условиях невозможности измерения качества сырья (входной координаты), полуфабрикатов и готовой продукции (выходной координаты) в потоке традиционными средствами сформулируем первую задачу для разработки интеллектуальной системы управления качеством: *автоматизация контроля в потоке органо-*

лептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции с применением методов и технологий искусственного интеллекта.

Важной первостепенной задачей является разработка методов и способов автоматизации контроля в потоке выявленных основных органолептических показателей качества сырья., полуфабрикатов и готовой продукции.

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 и др.), который в настоящее время рассчитывается и затем анализируется в лабораториях кондитерских предприятий. Оперативный контроль данного показателя качества осуществляется в лабораториях кондитерских фабрик. На определение этого показателя затрачивается достаточно большое количество времени [25]. И эти характеристики для управления процессом производства кондитерской продукции перестают быть актуальными (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 дает 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, 61, 68, 70].

Как известно, компьютерное зрение (Computer Vision, CV) — 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 программного обеспечения, которое идентифицирует и классифицирует объекты. Они способны анализировать образы (фотографии, картинки, видео, штрих-коды), а также лица и эмоции.

Чтобы научить компьютер «видеть», используются технологии машинного обучения. Собирается множество данных, которые позволяют выделить признаки и комбинации признаков для дальнейшей идентификации и анализа. Однако существуют функции СКЗ, типичные для многих систем компьютерного зрения [169, 175, 181].

Компоненты СКЗ.

Основными компонентами системы компьютерного зрения 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.

Система является ключевой технологией на производстве и используется в тех приложениях, которые требуют высокоточного выполнения работ. В настоящее время выделяют несколько направлений развития компьютерного зрения:

- Face recognition — распознавание лиц, эмоций.
- Image recognition — распознавание объектов, товаров или предметов по фото.
- AR (Augmented reality) — дополненная реальность.
- OCR (optical character recognition) — распознавание рукописного, печатного или машинописного текста.

Автоматизация контроля с использованием СКЗ обеспечивает практически 100% гарантию качества. Таким образом, СКЗ обеспечивает множество различных преимуществ и его использование для автоматизации контроля в потоке коэффициента извлечения примесей в сырье повысит эффективность ТП.

Анализ работ в области автоматизации контроля показал, что СКЗ для визуального контроля и управления технологическими процессами начинают распространяться в различных отраслях пищевой промышленности. В частности, 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 и др.) [25, 60, 61, 217].

Эффективность методов зависит от технического обеспечения СКЗ, степени приспособленности линий производства продукции к месту монтажа и расположения системы в потоке органолептических показателей качества сырья и готовой продукции. Обеспечение автоматизации такого контроля в потоке позволяет значительно сократить время и стоимость производства продукции, повысить качество, производительность и эффективность работы линий производства кондитерской продукции.

Нами была исследована возможность использования высокоэффективных методов объектно-ориентированных языков программирования в СКЗ для автоматического контроля в потоке одного из важнейших органолептических показателей качества сырья при производстве, например, подсолнечной халвы: коэффициента извлечения примесей при сепарировании семян подсолнечника.

Проведенный нами обзор и анализ библиотек СКЗ для возможности использования в разрабатываемой системе показал, что имеется много нерешенных вопросов по обеспечению автоматизации контроля показателей качества объектов, поиску возникающих дефектов, определению наиболее информационных точек контроля и т.д. Были проанализированы возможные области использова-

ния существующих библиотек СКЗ [199, 200], всесторонне рассмотрена возможность применения методов и шаблонов проектирования объектно-ориентированных языков программирования в СКЗ в качестве инструмента определения органолептических показателей качества сырья и готовой кондитерской продукции на примере производства подсолнечной халвы. Для автоматического контроля органолептических показателей использовалась автоматизированная СКЗ, установленная на линии производства подсолнечной халвы (рисунке 3.3).



Рис. 3.3. Производство подсолнечной халвы с использованием СКЗ.

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].

Схема расположения основных компонентов типовой СКЗ представлена на рисунке 3.4. В состав системы входит одна или множества фото, или видеокамер, Lens – объектив, выпускаемый на сегодняшний день в огромных количествах. Camera – цифровая фото или видеокамера, Object – изучаемый объект исследования. Таким образом, можно абстрактно охарактеризовать типичную аппаратную часть системы компьютерного зрения.

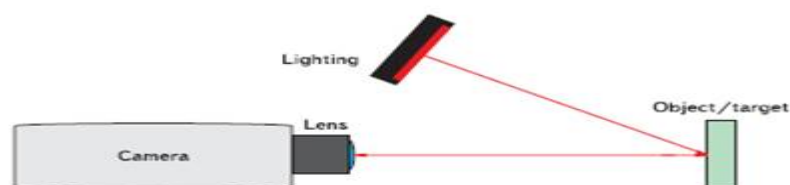


Рис. 3.4. Основные компоненты типовой СКЗ

Для рассмотрения аппаратной части проанализируем ее состав, представляющий различные аппаратные части отдельных звеньев системы. В частности, стоит выделить различные объективы как с фиксированным, так и плавающим фокусным расстоянием. Фокусное расстояние характеризует угол обзора объектива, поэтому используя это знание можно комбинировать различные объективы под разные нужды. В производстве фотооптических систем имеется следующая зависимость – чем меньше показатель фокусного расстояния – тем шире угол обзора, соответственно, чем выше показатель фокусного расстояния, тем меньше угол обзора. В качестве примера можно рассмотреть стандартные параметры двух различных объективов – 18мм (широкий угол обзора), и 250мм (узкий угол обзора). Проведенные нами исследования [89] показали, что угол обзора в 70мм оптимально подходит под использование в качестве анализа широкой конвейерной ленты производства подсолнечной халвы.

Затем необходимо было выбрать оптимальную точку размещения камеры и источников освещения. Кроме этого, при проведении исследований учитывались и другие различные параметры объективов.

Очень важна и программная составляющая СКЗ, а именно, программная архитектура обеспечения подготовки изображений к встроенной 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 экспонаре (совокупность установленных значений диафрагмы и выдержки). Оба эти пара-

метра 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 СТЗ недопустимо. Проведенные исследования показали, что, как правило, на кондитерских предприятиях в СКЗ используются объективы фиксированного фокусного расстояния, которые необходимо калибровать 1 раз в день перед началом производства.

Были также проанализированы основные характеристики цифровой камеры, такие как светочувствительность ПЗС-матрицы, ее фактические размеры, а также размер и количество пикселей. Проведенные нами исследования [19 – 26, 90] 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 выбирать 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 и прочим аспектам.

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 бинаризованными 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 невидимые человеческому глазу дефекты продукции.

По результатам проведенных исследований [25 - 38, 40 - 49] 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 цифровой видео камеры (ЦВК) и модуля сбора данных, хранения и принятия решения интеллектуальной автоматизированной системой управления качеством кондитерской продукции в процессе производства для автоматизации контроля в потоке коэффициента извлечения примесей и внешнего вида семян подсолнечника не вызывает особых вопросов: необходим выбор цифровой видеокамеры и технический паспорт, который обычно прилагается к ней. Выбранная серия системы зрения «Омрон Электроникс» включает в себя различные фотокамеры, которые различаются по техническим характеристикам, такими как – скорость съемки, разрешение кадра, светочувствительность, динамический диапазон и пр. Выбран наиболее рациональный вариант СКЗ под нужды именно производства кондитерской продукции.

Анализ полученных в процессе проведенных исследований данных показал, что в проектируемых интеллектуальных автоматизированных системах управления и контроля все чаще используют видеокамеры с микропроцессорами, которые способны работать как интеллектуальный датчик. 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 интеллектуальных датчиков адаптироваться к условиям эксплуатации и непрерывно оптимизировать свою чувствительность, приводит к повышению эффективности производства при решении системой поставленных задач.

На основании проведенных исследований по техническому обеспечению системы автоматического контроля коэффициента извлечения примесей при

подготовке сырья к производству халвы использовалось следующее оборудование: видеочамера 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 подсолнечной халвы видеочамера 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 3.5) использовалась библиотека OpenCV (Open Computer Vision). В данной библиотеке ключевым используемым классом был класс Mat, который является трехмерной матрицей с большим количеством дополнительных параметров.

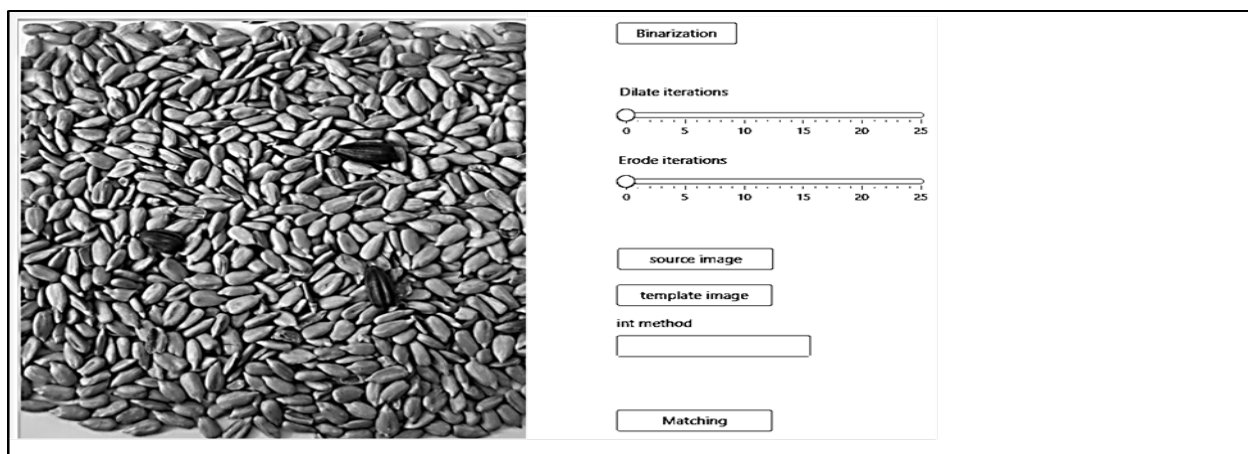


Рис. 3.5. Фрагмент программы для обработки изображения

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 находиться 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 каждом передвижении ползунок вызывается метод `moveSliderErode`, либо `moveSliderDilate`, которые изменяют локальные значения переменных для алгоритмов `Erode` и `Dilate`. И таким вот образом `Java` работает с объектами.

При обработке полученного кадра, в первую очередь, поступившее изображение 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 была проведена операция по дополнительному отсечению изображения от шума, теней, полутонов, бликов и информационного мусора. Результат работы алгоритма бинаризации представлен на рисунке 3.6.

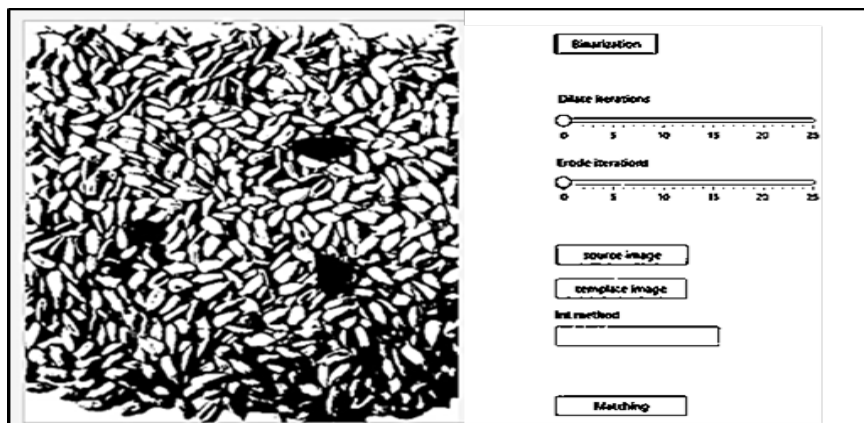


Рис. 3.6. Бинаризация изображения

После оптимального подбора пороговых значений бинаризации были выполнены операции размывания (erode) и растягивания (dilate). Результат работы данных алгоритмов представлен на рисунке 3.7.

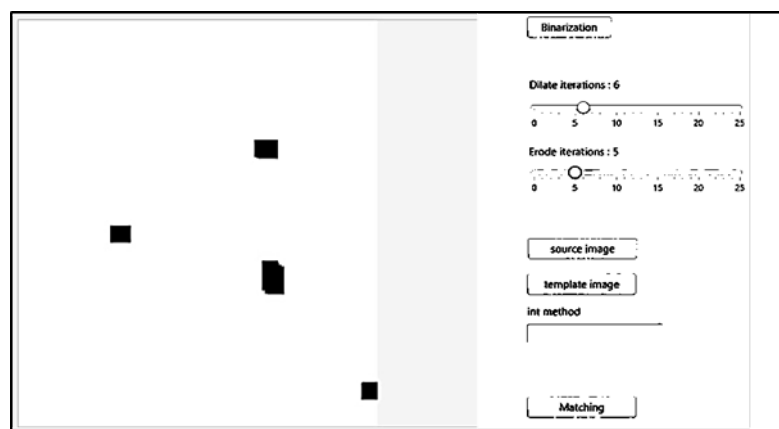


Рис. 3.7. Результат применения методов Erode и Dilate.

Как видно на рисунке 3.7, 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 отделения примесей.

На основании проведенных исследований были определены оптимальные места монтажа и расположения системы технического зрения в линии производства подсолнечной халвы.

Проведенные исследования показали оптимальное расположение камеры: камеру необходимо располагать над конвейерной линией на участке технологического производства после процесса сепарирования, так как необходимо осуществлять контроль качества непосредственно при выходе семян подсолнечника из сепаратора. Камера должна быть ориентирована таким образом, чтобы плоскость матрицы сенсора располагалась параллельно плоскости конвейерной линии (рисунок 3.8). Пунктирными линиями обозначено пространство, попадающее в область видимости камеры. Проведенные исследования показали, что видеокамеру следует устанавливать таким образом, чтобы изображение конвейерной линии занимало всю область видимости камеры.

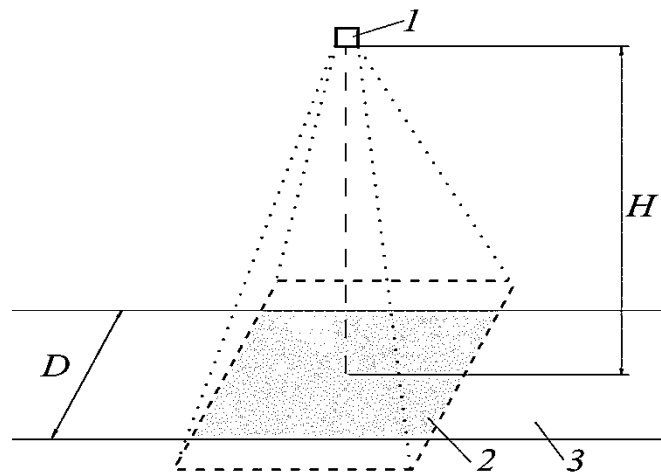


Рис. 3.8. Схема расположения видеокамеры 1 над конвейерной линией 3.

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

В случае, если такая установка камеры над конвейерной линией невозможна из-за технических особенностей производства, то необходимо использовать дополнительные возможности для калибровки – отступы. Если камера с за-

данным 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 3.9), где W – ширина изображения, H – высота изображения в пикселях, пунктирными линиями абстрактно изображена конвейерная линия.

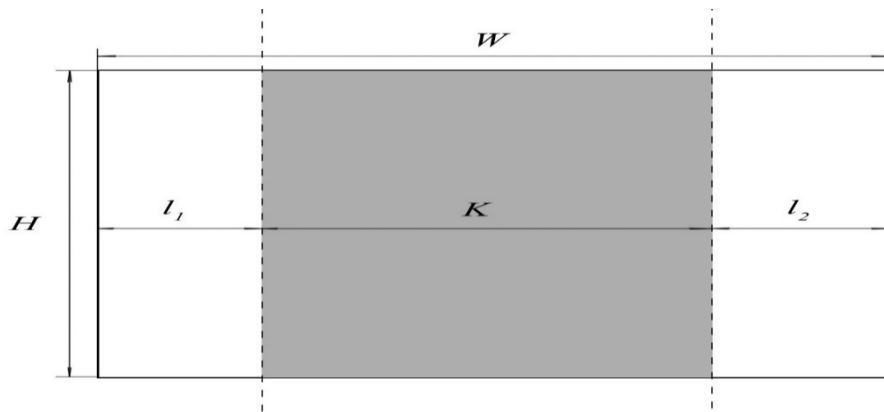


Рис. 3.9. Калибровка отступов

Введение подобных отступов позволяет использовать видеокамеры, конструктивно не имеющие возможность изменения угла обзора, а также видеокамеры, встроенное программное обеспечение которых не позволяет кадрировать (осуществлять выбор точки съёмки, ракурса и направления съёмки) получаемое изображение.

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:

$$1px = \frac{K}{N} \quad (3.1)$$

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:

$$l_w = l_{MN} \times \frac{K}{N} \quad (3.2)$$

$$l_H = l_{EH} \times \frac{K}{N} \quad (3.3)$$

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

Анализ полученных результатов показал эффективность использования методов и шаблонов проектирования объектно-ориентированных языков программирования в системе компьютерного зрения в качестве инструмента автоматизации контроля такого важного органолептического показателя качества сырья при производстве подсолнечной халвы, как коэффициент извлечения примесей.

На рисунке 3.10 показана структурная схема СКЗ для автоматизации контроля в потоке коэффициента извлечения примесей.

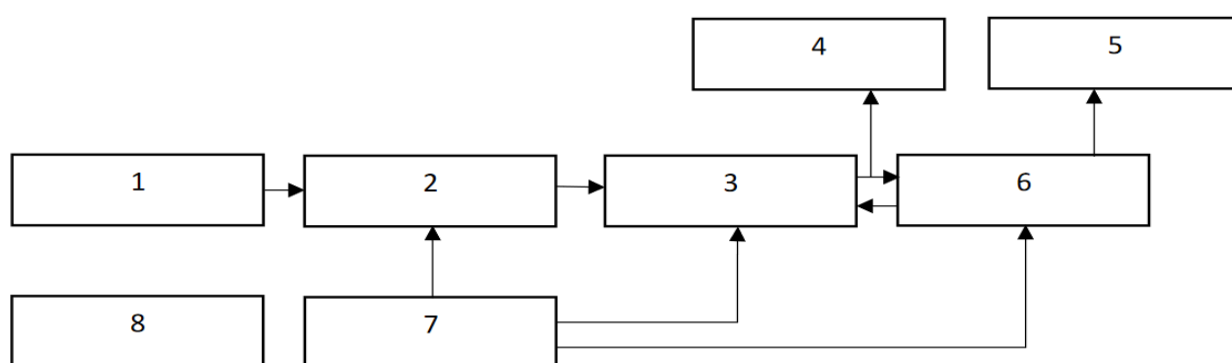


Рис. 3.10. Схема СКЗ для автоматизации контроля в потоке коэффициента извлечения примесей

Для решения поставленной задачи было решено использовать, как и СКЗ, так и нейросетевые технологии. Подробно данные исследования приведены в

наших статьях [26, 27]. Нейронная сеть, которая использовалась для контроля примесей в сырье, является сверточной нейронной сетью. На рисунке 3.11 показан пример архитектуры использованной сверточной нейронной сети.

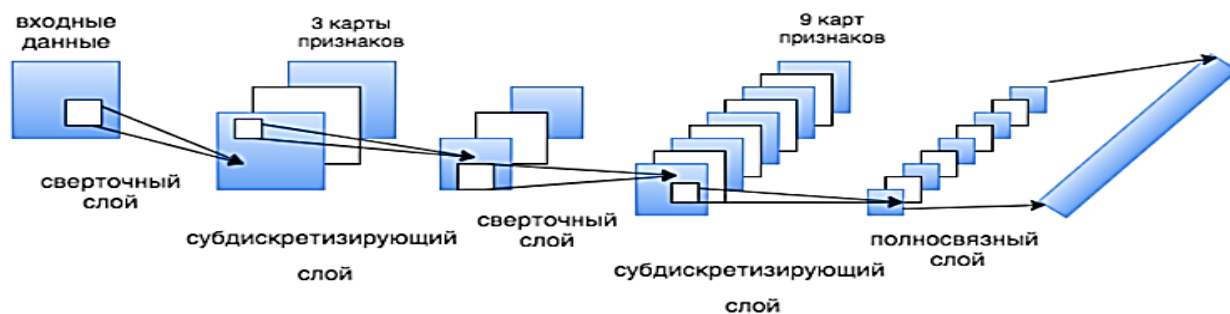


Рис. 3.11. Пример архитектуры сверточной нейронной сети.

Свёрточная нейронная сеть—архитектура нейронных сетей, предназначенная 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 (матрица свертки), соседние пиксели также накрываются ядром. Далее подсчитывается сумма, где слагаемыми являются произведения значений пикселей на значения ячейки ядра, накрывшей данный пиксель. Получившийся результат суммируется и записывается в аналогичную позицию выходного изображения.

Чтобы нейронная сеть корректно работала и определяла примеси необходимо было ее обучить. Для этого был создан набор изображений семян подсолнечника с разным включением примесей, представленный на рисунке 3.12.

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

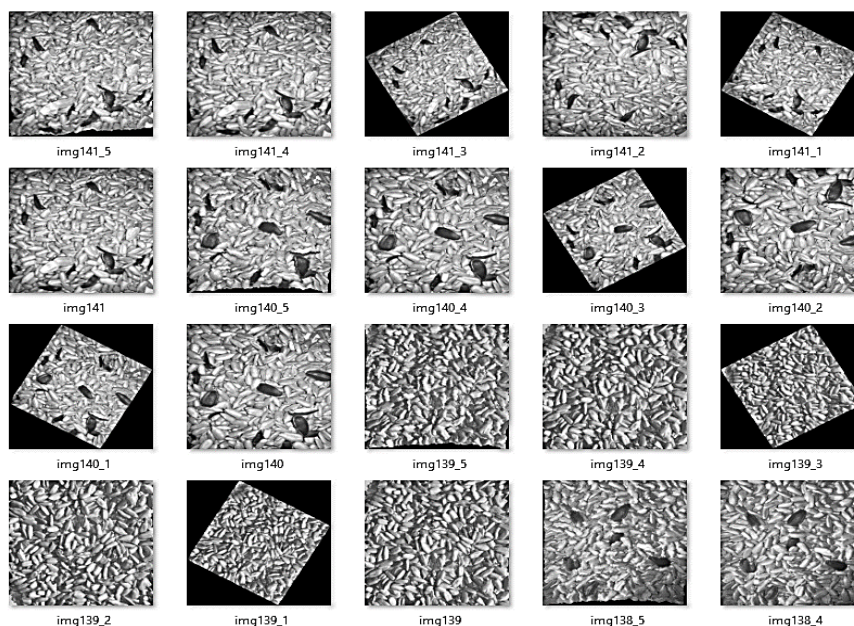


Рис. 3.12. Создание набора изображений для обучения нейронной сети

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) ИАСКиУК 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 ИАСКиУК. 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.

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 систем компьютерного зрения:* калибровка сенсоров, самоориентация, самопозиционирование; обнаружение объектов и изменений в сцене наблюдения; слежение за объектами; реконструкция поверхностей и обнаружение трёхмерных структур; высокоточные измерения элементов сцены; идентификация объектов; организация зрительной обратной связи при работе управляемых устройств, манипуляторов или мобильных роботов в изменчивой среде.

Требования, предъявляемые к методам и алгоритмам компьютерного зрения:

- Робастность (связана с изменчивостью изображений, полученных в реальных условиях). Вычислительная реализуемость. Реализация процедуры поиска объекта связана с угрозой лавинообразного роста требуемого числа вычислений.
- Точность (данные алгоритмы должны обеспечивать точную локализацию объектов, которые подлежат обнаружению, или контуров объектов, подлежащих обнаружению).

Компьютерное зрение работает в три основных этапа:

- Получение изображения. Изображения, даже большие, 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 определения размера, формы, цвета, состояния поверхности и целостности сырья (на примере семян подсолнечника) была использована видеокамера, работающая с визуальной информацией, обработав которую, получают все необходимые данные, передающиеся в дальнейшем в ИАСКиУ. Анализ детального

состояния внешнего вида: размера, формы, цвета, состояния поверхности и целостности семян подсолнечника таких массовых объектов, как семена подсолнечника на данный момент ещё никем не рассматривался.

Поставленная перед нами задача автоматизации контроля внешнего вида сырья (на примере семян подсолнечника) в ходе управления ТП производства кондитерской продукцией требует обеспечения выборки с большим числом этих объектов и дополнительного сбора необходимой информации к распознаванию 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 3.13 представлены схема оборудования и классы решаемых СКЗ задач.

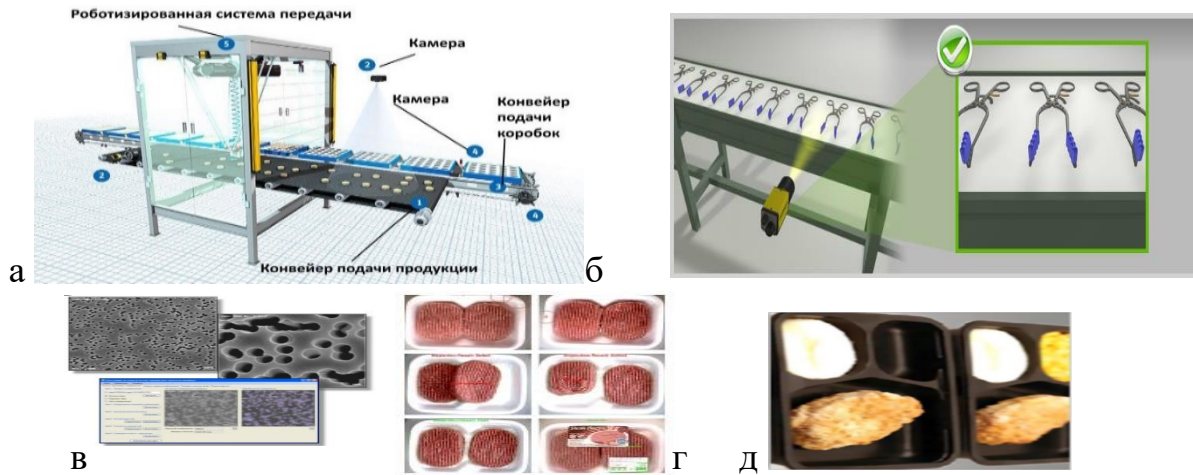


Рисунок 3.13. Решаемые СКЗ задачи: а – схема конвейера; б – контроль качества сборки медицинского оборудования; в – контроль рисунка; г – комплексная инспекция мясных полуфабрикатов; д – контроль комплектности размещения продуктов.

Анализ исследований в данной области позволил разработать алгоритм распознавания СКЗ внешнего вида семян подсолнечника как множественного количества объектов растительного происхождения (рисунок 3.14).



Рис. 3.14. Алгоритм СКЗ по распознаванию внешнего вида семян подсолнечника: а – режим обучения; б – рабочий режим.

Были проведены исследования по использованию нейронных сетей (НС)

на основе многослойного персептрона. Блок-схемы полученной СКЗ распознавания типов и видов семян подсолнечника, основанной как на искусственных нейронных сетях, так и на статистических методах, представлены на рисунке 3.15. 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 3.16. Как показали проведенные исследования распознавания показателей внешнего вида семян подсолнечника, оптимальный многослойный персептрон имеет 25 нейронов во внутреннем слое, при 45 входных нейронах и пяти выходных (распознавались такие показатели, как размер, форма, цвет, состояние поверхности и целостность семян подсолнечника).

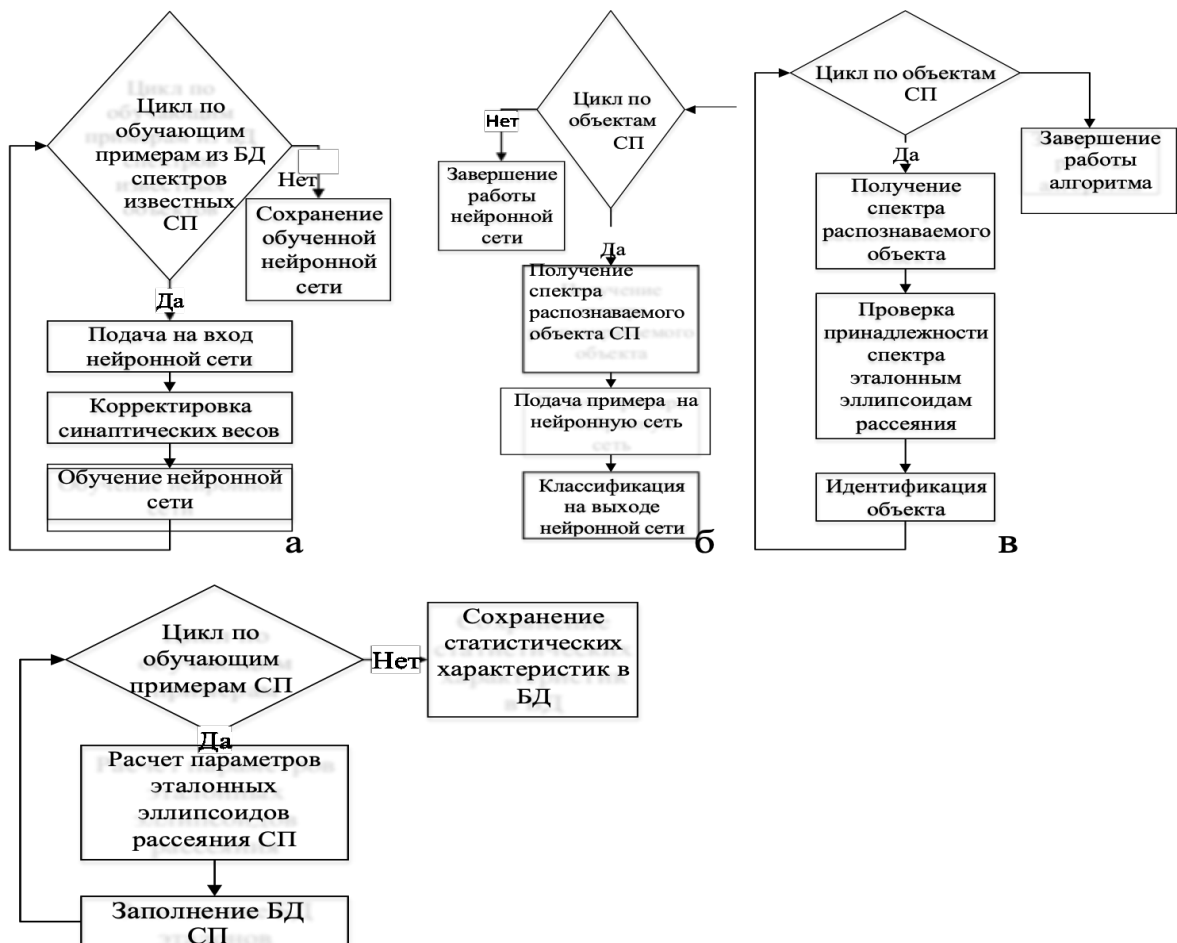


Рис. 3.15. Блок-схема нейросетевого классификатора по распознаванию типов и видов семян подсолнечника: а – режим обучения с использованием

искусственных нейронных сетей; б – рабочий режим данного классификатора;
 в – режим обучения классификатора с использованием статистических методов;
 г – рабочий режим этого классификатора.

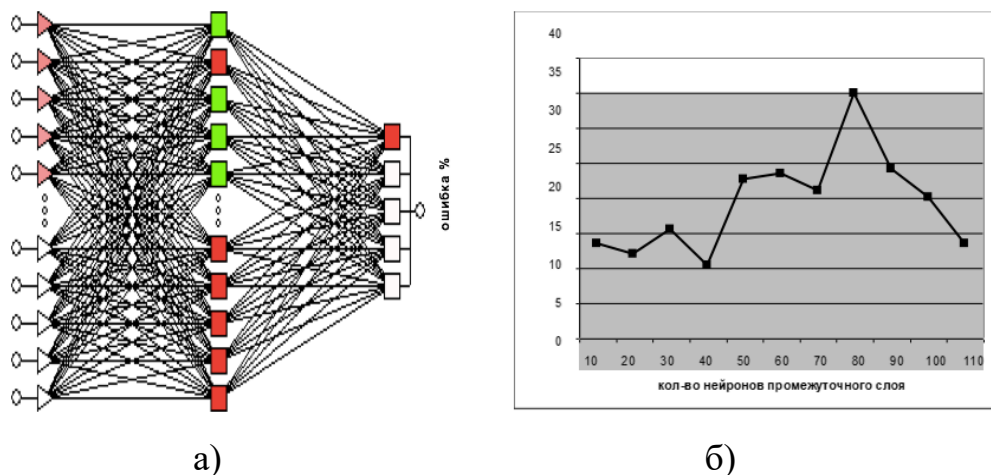


Рис. 3.16. Нейросетевая структура, используемая для определения внешнего вида семян подсолнечника и полученный результат её работы:
 а – нейросетевая структура; б – результаты расчета ошибки распознавания внешнего вида семян подсолнечника

Распознавались в исследованиях пять сортов семян подсолнечника. Анализ проведенных исследований нейросетевых методов распознавания внешнего вида семян подсолнечника, основанных на использовании многослойного персептрона, показал хорошие результаты по распознаванию семян подсолнечника как множественного количества объектов растительного происхождения (92%). Проведенные исследования показали, что нейросетевой классификатор работает быстрее, но он не даёт возможность объяснить, почему СКЗ приняла именно такое решение. 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 семян подсолнечника. Для решения данных задач в СКЗ могут использоваться не одна, а несколько камер. 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 с 3D – динамические изображения этапа подготовки сырья к производству. В рамках задач данной диссертации работа велась именно с видеопотоком (время наблюдения зависело от времени пребывания семян подсолнечника в рабочей зоне СКЗ). Работа с видеопотоком особенно важна при слежении по изображению за перемещением семян подсолнечника и с изменением ракурса изображения с ленты конвейера (рисунок 3.17).

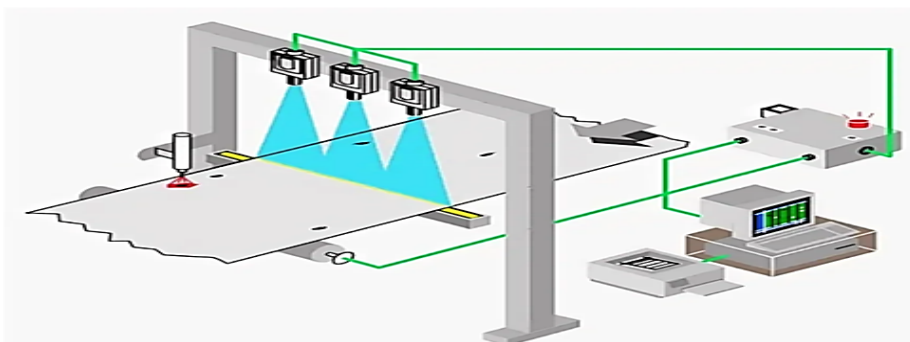


Рис. 3.17. Учет информации, поступающей с нескольких СКЗ

Одним из важных этапов распознавания является сегментация. В данной работе для сегментации изображения был использован алгоритм k-means [69, 187]. Затем в целях получения гладкости и чистоты интересующей области объекта была выполнена предобработка полученных изображений. Следующим шагом была классификация сегментов, которая осуществлялась с использованием нейронных сетей (НС). Проведенные исследования показали, что данный способ классификации является достаточно эффективным и точным для поставленных задач.

Проводились исследования с НС, 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 нейронная сеть хорошо справлялась со своей задачей.

Проведенный нами 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 семян подсолнечника 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 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 бы 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 технологии принесет значительный экономический эффект и позволит повысить качество производимой продукции.

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, модель АКОП будет включать в себя еще три дополнительных блока: блок подготовки обучающей базы типов, видов и состояний семян подсолнечника экспертом; блок обучения и распознавания внешнего вида семян подсолнечника и блок общей оценки внешнего вида массового количества семян подсолнечника. На рисунке 3.18 представлен разработанный модуль АКОП требуемой функциональности.

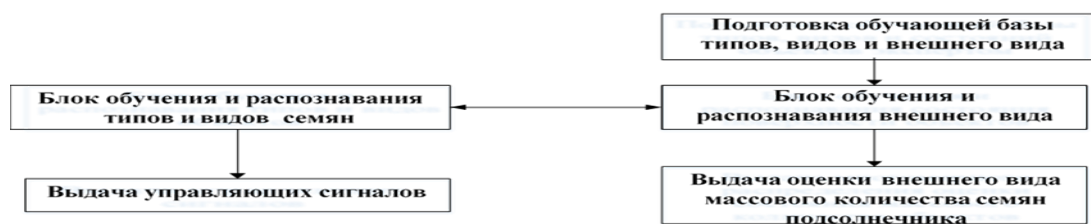


Рис. 3.18. Функциональные блоки модуля АКОП

3.4.4. Автоматизация контроля угла естественного откоса

Угол естественного откоса – это важнейшая реологическая характеристика сырья и различных материалов [18, 106]. Она является широко распространенной как на производстве, так и в прикладных исследованиях. Распространенность ее объясняется с одной стороны простотой и наглядностью измерений, с другой – комплексным характером этой величины. 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]. Данный параметр используется часто в чисто научных и прикладных исследованиях для сравнительной оценки реологических и технологических свойств сыпучих масс. Эту характеристику используют также при определении вместимости транспортных средств и хранилищ, расчете оптимального наклона желобов, стенок воронок и т.д. [20].

В связи с влажностью этой характеристики для пищевых 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 3.19.

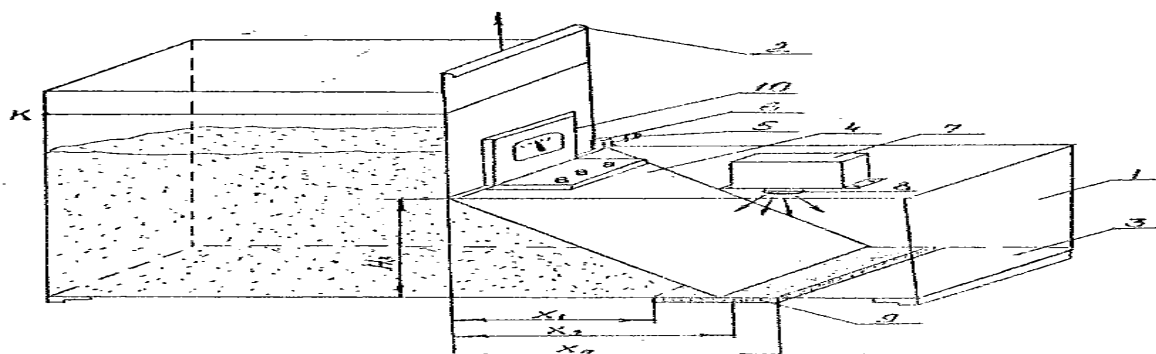


Рис. 3.19. Общий вид прибора для автоматического определения угла естественного откоса пищевых сыпучих масс

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 напряжением 220/24 В, источником света 8, селеновым фотоэлементом 9 для измерения горизонтальной составляющей угла естественного откоса, оттарированным измерительным показывающим прибором – миллиамперметром 10.

Для стабилизации светового потока использована компенсационная схема 11 (рисунок 3.20), представляющая собой мостовую схему, собранную из четырех диодов Д 226. Схема основана на компенсации внутреннего напряжения ЧЭ 0,4 В напряжением компенсационной сети, включенным навстречу. С помощью трех сопротивлений R_1 , R_2 и R_3 (соответственно 10 кОм, 200 кОм и 10 кОм) обеспечивается стабильное значение тока.

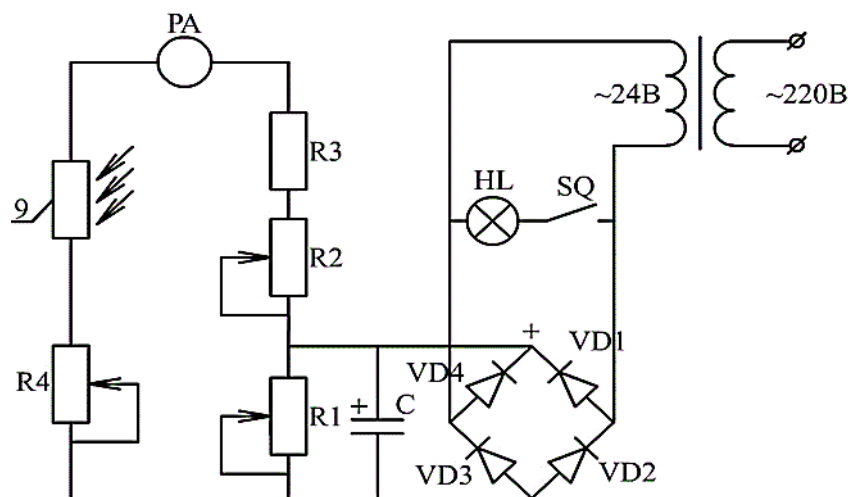


Рис. 3.20. Компенсационная схема стабилизации светового потока в автоматическом приборе для определения углов естественного откоса

Прибор для автоматического контроля угла естественного откоса пищевых сыпучих масс имеет два режима работы.

Режим 1. Прибор работает при отключенной сети, если световой поток J достигает значения, необходимого для измерения угла естественного откоса, т.е.

$J > J_{\max}$. При этом обязательно производится настройка фона, для чего переменным сопротивлением R_1 (10 кОм) ставим стрелку миллиамперметра 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 чувствительного селенового фотоэлемента 9 закрывается исследуемой массой и пропорционально площади закрытия элемента уменьшается величина тока, регистрируемая прибором 10. Так как шкала на вторичном 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 переменных сопротивлений R_1 и R_2 (соответственно 10 кОм и 200 Ом) устанавливают стрелку миллиамперметра 10 на нулевую отметку для устранения светового фона. Перед началом работы проверяют и, если необходимо, регулируют 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. Так как геркон включен последовательно в цепь источника света, то при замыкании его контакта включается лампочка, свет которой падает на чувствительный селеновый фотоэлемент. Далее работа прибора происходит при заданном значении одного из линейных параметров – 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.

$$x_i = \operatorname{tg} \alpha H_3, \quad (3.4)$$

Из уравнения (3.4) получим

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

Блок-схема алгоритма работы прибора для автоматического определения угла естественного откоса пищевых сыпучих масс представлена на рисунке 3.21.

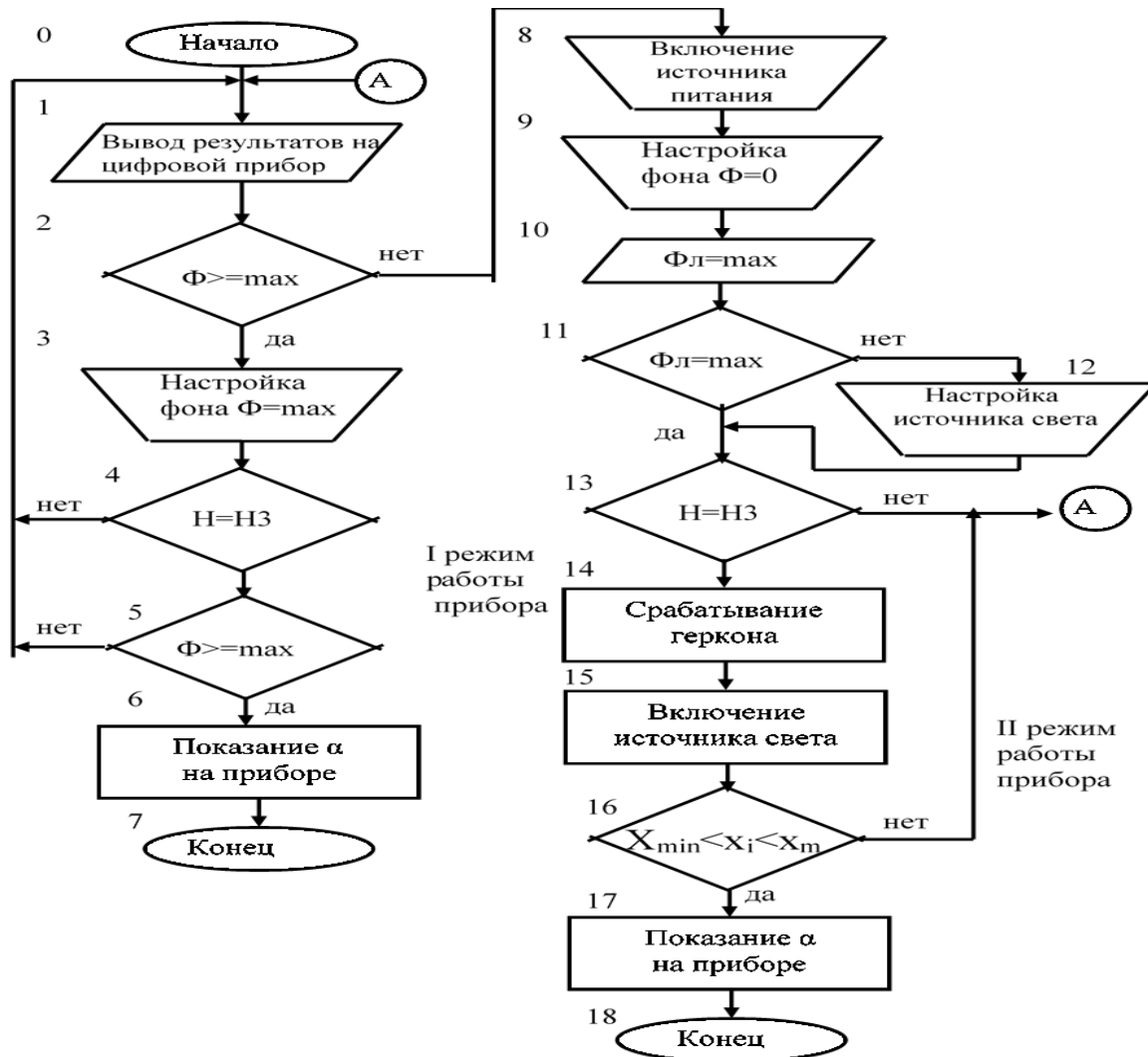


Рис. 3.21. Блок-схема алгоритма работы прибора для автоматического определения угла естественного откоса сыпучих пищевых масс

Был изготовлен макет данного прибора и проведены экспериментальные исследования его работоспособности, Подробно результаты проведенных исследований данного прибора приведены в нашей работе [58]. Анализ полученных данных позволил получить следующую техническую характеристику прибора:

Предел измерения угла естественного откоса, град	25 ÷ 40
(углы естественного откоса можно измерять в любом из указанных диапазонов, что зависит от места установки селенового фотоэлемента)	40-55 55-77
Относительная погрешность, %	± 2,0
Порог чувствительности, %	0,08
Температура окружающего воздуха, °С	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

Апробация данного прибора в производственных условиях показала его работоспособность.

3.4.5. Автоматизация определение блеска поверхности кондитерских изделий

Блеск (плиточный шоколад, глазированные шоколадные конфеты, глазированный зефир, драже и др.) – является показателем качества, отраженным в ГОСТе и показывающим состояние поверхности исследуемой готовой продукции [143]. На рисунке 3.22 показан пример плитки шоколада с блестящей поверхностью.



Рис. 3.22. Плитка готового шоколада с блестящей поверхностью

На большинстве кондитерских предприятий контроль качества блеска покрытий кондитерской продукции осуществляется органолептическими методами в лабораториях кондитерских предприятий [173, 204]. Поэтому разработка отечественного датчика автоматического контроля в потоке блеска покрытий готового плиточного шоколада, глазированных шоколадных конфет, глазированного зефира, драже различной геометрической формы и других кондитерских изделий 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, как и цвет, напрямую зависит от свойств исследуемого продукта и режима его отверждения [143]. Измерение блеска необходимо для характеристики внешнего вида и оценки качества состояния поверхности готового изделия – блестящая, равномерная (однородная), являющегося основными ГОСТовскими показателями качества готовой кондитерской продукции.

Блеск (он же глянец) – это оптическая характеристика свойства поверхности, отражающей свет, показывающая соотношение между интенсивностями света, зеркально отраженного от поверхности, и света, рассеянного во все стороны – диффузного отражения (рисунок 3.23).



Рис. 3.23. Оптическая характеристика свойства поверхности, отражающей свет

Блеск появляется только после формования кондитерского изделия и только в том месте, где шоколад соприкасается с гладкой поверхностью [143]. Как измеряемая физическая величина *блеск* – это соотношение световых потоков

Принципиальная схема фотоэлектрического датчика контроля блеска готовых кондитерских изделий разной геометрии изображена на рисунке 3.24. Фотоэлектрический датчик состоит из источника света, линзы, направляющей поток параллельных лучей на испытываемую 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 $45^\circ/45^\circ$ и $45^\circ/0^\circ$.

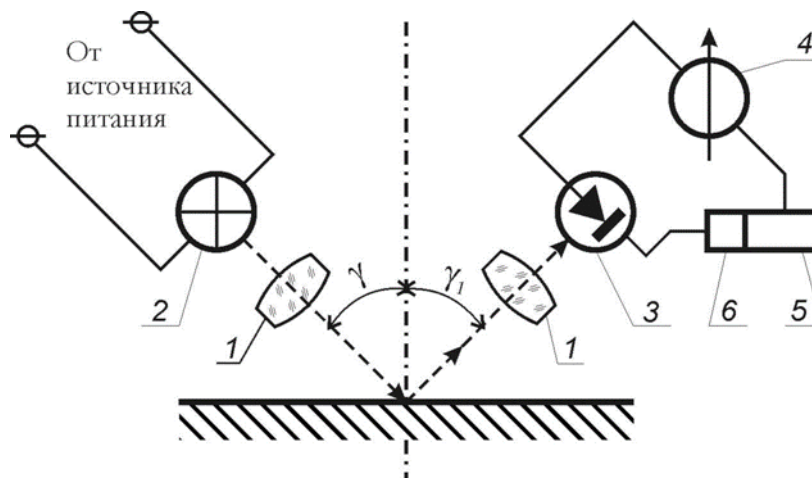


Рис. 3.24. Фотоэлектрический датчик контроля блеска поверхности

- 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 продукта, с количеством света, отраженного эталоном. В основу метода определения состо-

яния 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 (рисунок 3.28). Перед проведением исследований, датчик настраивали при помощи эталонной пластинки блестящей поверхности таким образом, чтобы показание шкалы измерительного прибора 4 было «65».

Оптимально, если датчик позволит измерять значения блеска под углами 20/60/85 [143]. Кроме того, необходимо обеспечить компактные размеры датчика [59].

Для получения более точных результатов по состоянию исследуемой поверхности готового кондитерского изделия необходим второй датчик, который позволяет измерять поверхности со средней степенью блеска, а также контроли-

ровать однородность и равномерность покрытия, его состояние, наличие повреждений. При этом световой пучок должен иметь сопрягающую оптическую систему для измерительного канала. Для этого:

- 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 3.25. Исходя из этого была рассчитана осветительная система, представленная на рисунке 3.25а. Оптическая система удовлетворяет требованиям и по габаритам.



Рис. 3.25. Данные математического моделирования оптической системы:

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

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 3.26 представлена сборочная 3D модель датчика блеска на 2 угла (с геометрией 45/0/45) в разрезе.

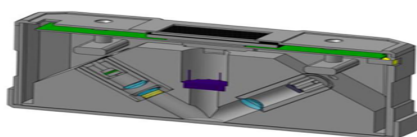


Рис. 3.26. Смоделированная 3D модель датчика блеска с геометрией 45/0/45 в разрезе

По степени блеска и по состоянию поверхности готовой продукции, измеренных 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 3.27.

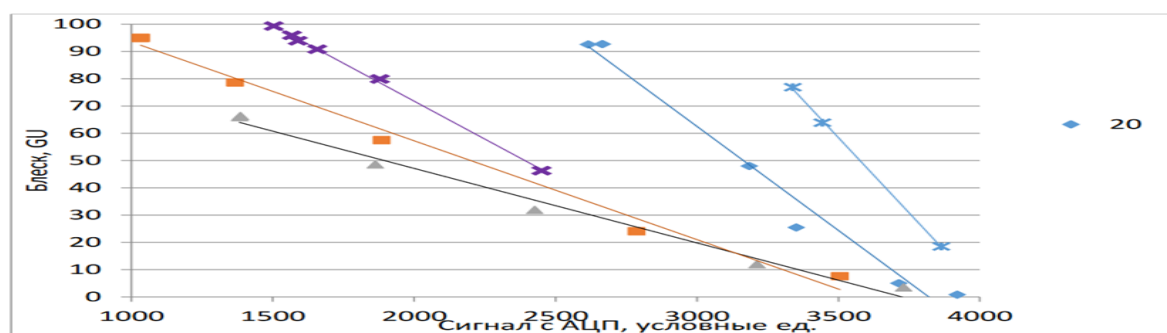


Рис. 3.27. Зависимость результатов значений блеска поверхности от напряжения на фотоприемнике без диафрагмы

В результате проделанных исследований:

- выбрана оптимальная оптическая система, удовлетворяющая требованиям контроля блеска поверхности готовой кондитерской продукции;
- создан макет датчика блеска;
- смоделирован макет фотоэлектрического датчика автоматического контроля блеска и состояния покрытия готовой кондитерской продукции различной геометрической формы, который прошел апробацию на различных эталонных образцах блеска поверхностей. Он позволяет также контролировать однородность и равномерность покрытия глазированных конфет, состояние и повреждения его поверхности.

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. Харак-

теристики структуры», ГОСТ 5897-90 «Изделия кондитерские. Методы определения органолептических показателей качества, размеров, массы нетто и составных частей», которыми предусматривается обязательное определение одного из основных органолептических показателей качества разнообразной кондитерской продукции - формы готовых изделий (таблица 1.13).

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 [173]. С помощью этого оборудования происходит контроль размера плиток шоколада. Цветовые параметры, блеск поверхности и форму готовых изделий контролируют визуально эксперты в лабораториях кондитерских предприятий [203].

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 плиток шоколада и исследовать их в лабораторных условиях, что несколько искажает данные (изменение температуры, влажности, вязкости и других важнейших параметров пористого шоколада). Существующий 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 автоматического контроля в потоке органолептических показателей качества кондитерских изделий продемонстрировали, что метод распознавания объектов с использованием искусственных нейронных сетей 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 искусственного интеллекта. Использование этих интеллектуальных технологий для решения поставленной задачи обусловлено быстрой скоростью работы разрабатываемого виртуального прибора, возможностью поточной обработки данных и возможностью 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; контроль технологического процесса сетевые системы технического зрения F500 и F210ETN; устройство считывания двумерного кода V400; устройство считывания двумерного кода V530-R160. Проведенный нами анализ возможности использования цифровой видеокамеры (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 обстрела светом 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 готовой продукции и отсеивания брака, была выбрана 2D камера, способная получать привычный прямоугольный кадр, так как такого вида информация была необходима программной части для дальнейшей ее обработки.

Программная часть представляет собой программное обеспечение, которое имеет возможность выделять 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 программного обеспечения: Python, TensorFlow, OpenCV.

В качестве реализации данного программного обеспечения (ПО) был выбран язык программирования Python и его библиотека OpenCV [21]. Данная библиотека способна работать с цифровой видеокамерой, выполнять обработку изображения, работать с цветом, рисовать на изображениях для выделения объекта и выполнять множество необходимых функций [25].

Для детектирования исследуемого нами 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 [22]. R-CNN – первая модель для решения данной задачи. Работает как обычный классификатор изображений [93]. На вход сети подаются разные изображения и для них делается 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 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 3.28 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 [199, 200]. 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 экспериментальные исследования позволили получить эти веса от обучения YOLOv3 на наборе данных COCO (Common Objects in Context).

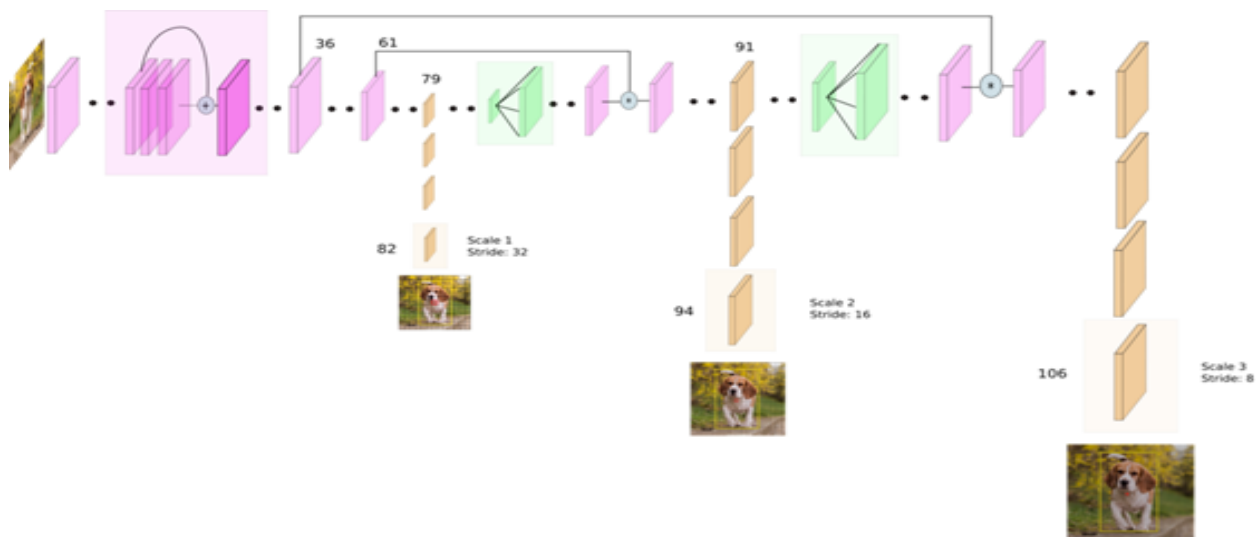


Рис. 3.28. Внутренняя архитектура сверточной нейронной сети YOLOv3

Для тестирования нейронной сети, в качестве примера, было взято изображение плитки пористого шоколада, представленное на рисунке 3.29:



Рис. 3.29. Пример изображения плитки пористого шоколада

Предварительно обработав данное изображение библиотекой OpenCV, получаем выходное изображение, представленное на рисунке 3.30, с выделенными контурами и значениями длины и ширины плитки шоколада.



Рис. 3.30. Выходное изображение плитки шоколада

Данная технология, показанная на примере пористого шоколада производит контроль в потоке внешней формы 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 быстрдействию) для автоматизации контроля в потоке формы готовой карамели

Внешняя форма карамели является важнейшим показателем качества. В настоящее время она определяется в лабораториях кондитерских предприятий органолептическими методами. 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 3.31). В результате эксперимента выявлено, что на данном виде объектов СКЗ имеет точность 98,5%.

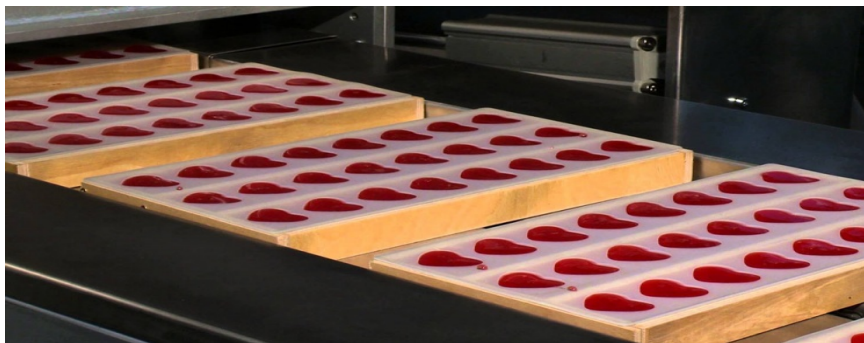


Рис. 3.31. Контроль в потоке формы готовой карамели после формования

3.4.7. Автоматизация контроля консистенции и текстуры кондитерских масс

Представленные в I и II главах настоящей работы исследования позволили сделать вывод о том, что качество многокомпонентных кондитерских масс определяется реологическими характеристиками, к которым, в первую очередь, относится консистенция (глава 1, п.п.1.2.1 -1.2.11, п.1.4). Консистенция характе-

ризует степень густоты, плотность высоковязких жидкостей и полутвёрдых материалов (шоколадные, помадные и пралиновые массы, сахарный сироп, карамельный сироп и т. п.).

Существует несколько определений консистенции. 1. Консистенция (*consistere* – состоять) - 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 [20].

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, пралиновых и 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 консистенции означает, что кондитерская масса имеет ровную структуру без заметных различий в текстуре. Однородная консистенция имеет ряд преимуществ для продуктов. Во-первых, это позволяет равномерно распределить вкус и аромат во всем продукте, улучшая его качество и приятность при употреблении. Во-вторых, 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.

Однородная консистенция является неотъемлемым атрибутом качества кондитерского продукта, поскольку:

- Улучшает внешний вид: продукты с однородной консистенцией выглядят привлекательно и аппетитно. Текстура продукта должна соответствовать его типу и ожиданиям потребителя.

- Обеспечивает равномерное распределение вкусовых и питательных компонентов: Когда продукт имеет однородную консистенцию, вкусы и питательные элементы равномерно распределяются по всему объему. Это означает, что каждый кусочек содержит одинаковое количество важных компонентов.

- Облегчает приготовление и производство изделия: однородная консистенция облегчает процесс приготовления и производства пищевых продуктов.

- Обеспечение однородной консистенции является важным аспектом при производстве кондитерских изделий. Оно не только улучшает внешний вид и вкус продукта, но и облегчает его использование и обработку. 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.

Таким образом, круг производственных процессов, для которых необходим контроль консистенции кондитерских масс в потоке весьма обширен. Нет практически ни одной кондитерской отрасли, которая бы не нуждалась в консистографах.

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 состояние ТП приготовления многокомпонентных кондитерских масс (МКМ) показало необходимость решения задачи автоматизации контроля консистенции МКМ в потоке.

Существующие методы органолептической оценки консистенции не пригодны для оценки состояния приготавливаемых масс и учета степени их обра-

ботки в производственных условиях, так как определение консистенции с их помощью требует длительного времени на проведение исследования и обработку полученных данных [204].

Учитывая вышесказанное, для определения этого важного органолептического показателя МКМ нами разработаны конструкции двух вариантов автоматических цифровых консисометров.

Принцип действия одного из консисометров 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.

Внешний вид макета разработанного консисометра представлен на фотографии рисунка 3.32.

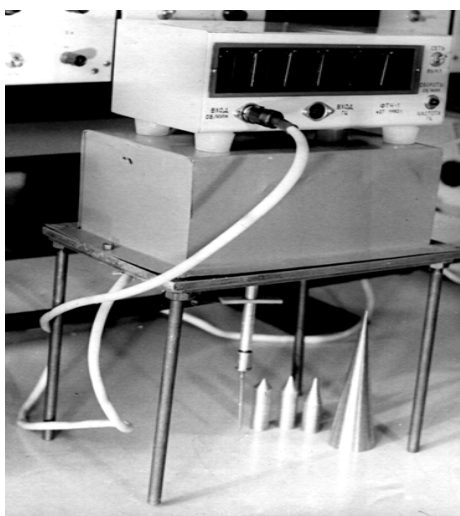


Рис. 3.32. Внешний вид макета цифрового консисометра (1 модификация)

Прибор состоит из трех блоков: первичного измерительного преобразователя (ЧЭ), блока управления и цифрового индикатора консистенции исследуемой массы.

Структурная схема консисометра (рис.3.57) состоит из следующих основных элементов: автоматического преобразователя консистенции (АПК), в котором измеряемая консистенция преобразуется во временной интервал (счетчик импульсов), и устройства преобразования информации (УПИ), в котором временной интервал преобразуется в цифровой отсчет в единицах консистенции.

Структурная схема данного консисометра представлена на рисунке 3.33.

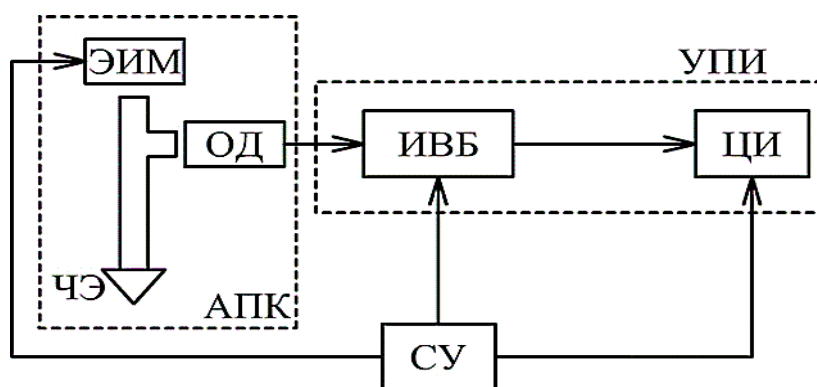


Рис. 3.33. Структурная схема цифрового консисометра

Данный консисометр 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, соответствующей 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 рис. 3.34. 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.

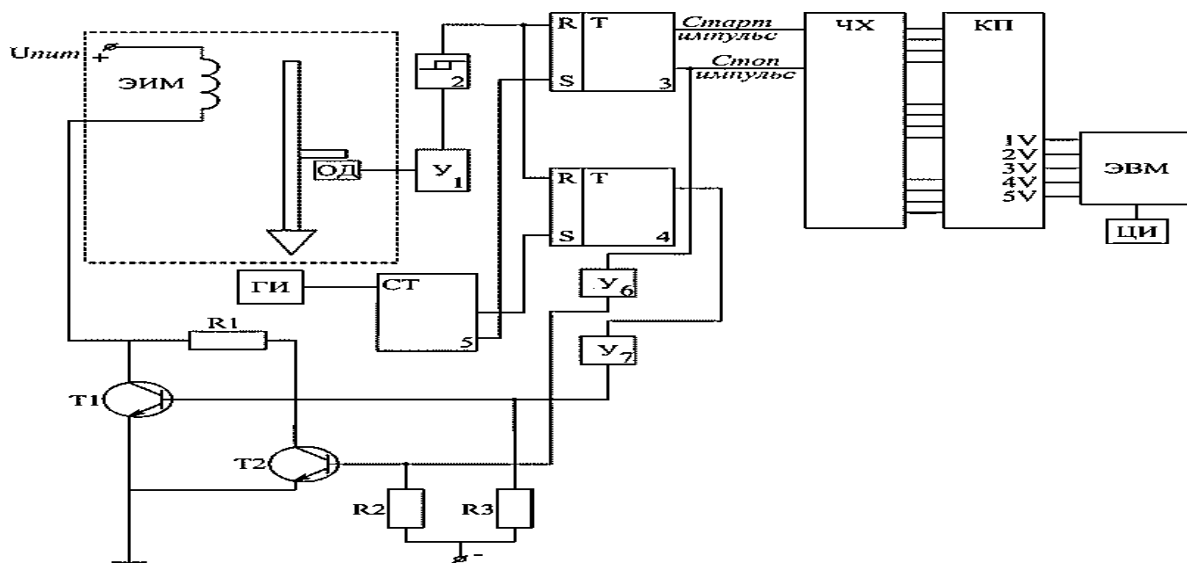


Рис. 3.34. Схема цифровой регистрации консистенции

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. Чувствительным элементом (ЧЭ) описанного прибора являются сменные насадки различной формы и размеров, которые позволяют определять на данном приборе консистенцию различных МКМ в широком диапазоне их изменения.

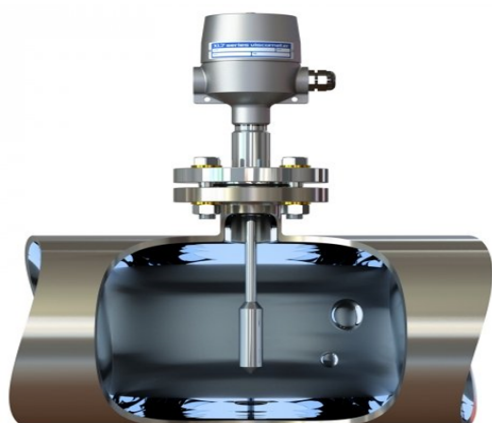
Были проведены исследования влияния формы чувствительного элемента консистометра на погрешность измерения консистенции. Установлено, что из-

мерение консистенции яблочного пюре ЧЭ в виде конуса углом 60° малочувствительно, 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. Однако применение ЧЭ с углом 15° не обеспечивает стабильности получаемых результатов. Поэтому для определения консистенции кондитерских масс рационально применение ЧЭ с углом 30° . 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, %	$\pm 2,5$
напряжение питания, В	$220 \pm (10-15)\%$
частота тока, Гц	50 ± 1
температура окружающего воздуха, $^\circ\text{C}$	$0 \div 50$
относительная влажность окружающего воздуха, %, не более	80
габаритные размеры, м, не более	
- первичный преобразователь консистенции	0,14 x 0,10 x 0,32
- блок управления	0,13 x 0,11 x 0,20
масса, кг	4,5

Внешний вид конструкции консистометра представлен на рисунке 3.35.



а)



б)

Рис. 3.35. Внешний вид конструкции консистометра (2 модификация):
а) первичный преобразователь; б) блок индикации и автоматизации

В качестве программируемой платформы блока цифровой индикации и автоматизации была выбрана платформа Arduino. В основе данного прибора – микроконтроллер Arduino Nano v3, который реализует разработанный алгоритм работы цифрового консистометра, выполняет функцию подсчета времени на фиксированном промежутке перемещения чувствительного элемента от первичного преобразователя, а также отображает информацию на дисплее и управляет электромагнитной муфтой. На рисунке 3.36 представлены изображения некоторых элементов цифрового блока индикации и автоматизации (микроконтроллер, модуль реле, LCD дисплей).

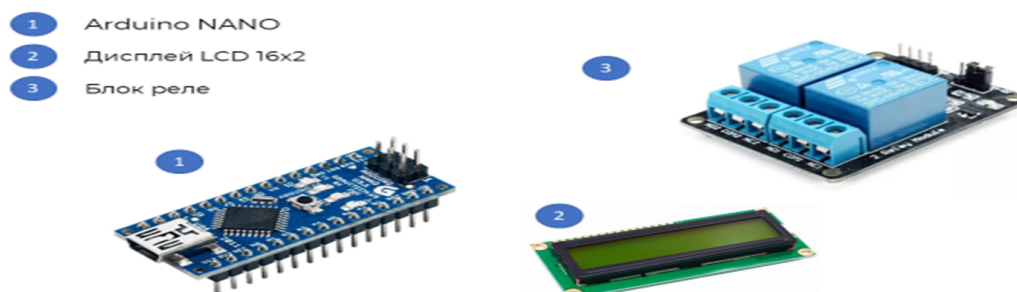


Рис. 3.36. Цифровой блок индикации и автоматизации

Далее более подробно рассмотрим схему подключений цифрового блока. Внутри блока индикации и автоматизации расположены: модуль управления электромагнитной муфтой (1); модуль автоматизации - микроконтроллер Arduino Nano v3 (2); модуль индикации (3); модуль управления автоматизацией – кнопки (4); На рисунке 3.37 представлена схема подключения описанных модулей для реализации алгоритма автоматизации измерения консистенции в потоке линии производства кондитерской продукции.

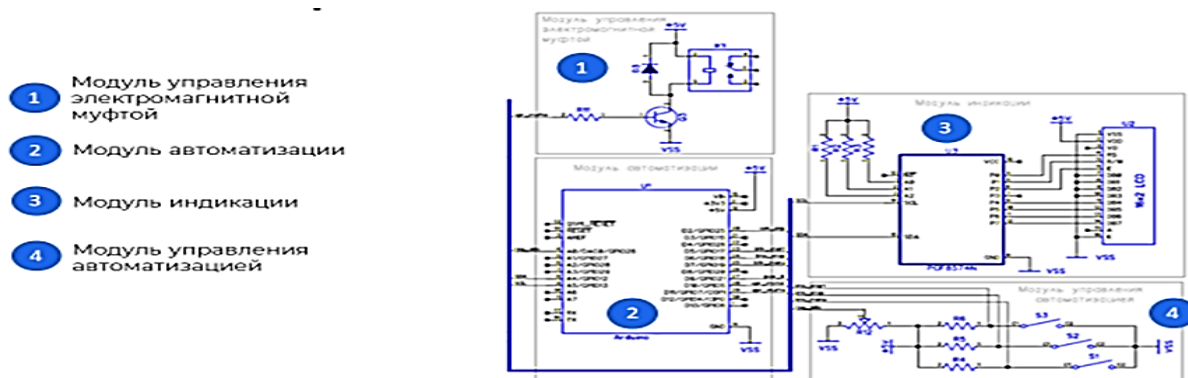


Рис. 3.37. Схема подключений блока индикации и автоматизации

Алгоритм работы цифрового консистометра показан на рисунке 3.38.



Рис. 3.38. Алгоритм работы цифрового консистометра

Прибор работает следующим образом. Нажимая кнопку старт, микроконтроллер Arduino Nano v3 подает управляющий сигнал на зачерпывающее устройство для забора пищевой массы из потока производственной линии. После этого формируется задержка по времени для остановки колебаний измеряемой пищевой (например, шоколадной) массы программными средствами (таймер задержки). Выдержав заданное время, микроконтроллером Arduino Nano v3 подается напряжение на электромагнитную муфту, которая отпускает вал, на конце которого установлен чувствительный элемент (ЧЭ). Одновременно с этим запускается внутренний подсчет времени и начинается отсчет до тех пор, пока ЧЭ не пройдет фиксированное расстояние, которое определяется датчиком положения (герконом). После измерения механизмы прибора возвращают стержень ЧЭ в исходное положение, а измеряемая масса по каналам перемещается обратно в емкость, например конш машины. Время перемещения вала, на конце которого установлен чувствительный элемент (ЧЭ), свободно двигающийся в смеси, тесно связано с консистенцией данной среды.

На рисунке 3.55 представлены фрагменты программного кода для реализации вышеописанного алгоритма (рисунок 3.39).

```

#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 UFR_MOTOR_OUTPUT   10
#define UFR_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(UFR_MOTOR_OUTPUT, OUTPUT);
  pinMode(UFR_MUFTA_OUTPUT, OUTPUT);
}

void lcd_init() {
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print(" Консисометр ");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(" версия 0.1 ");
}

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++;
}

```

Рис. 3.39. Фрагменты программного кода для реализации алгоритма работы цифрового консисометра

Сначала подключаются библиотеки для работы с дисплеем, после этого назначаются выходы микроконтроллера и объявляются переменные для алгоритма. Также здесь представлена реализация функции инициализация портов ввода/вывода, инициализация дисплея, изменение времени задержки с помощью потенциометра. 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 2 %.

В дальнейшем проводимые 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 предприятия в качестве автоматического цифрового консисометра, работающего в потоке. Пример возможной схемы установки автоматического цифрового консисометра на temperирующей машине при производстве шоколадных масс показан на рисунке 3.40.

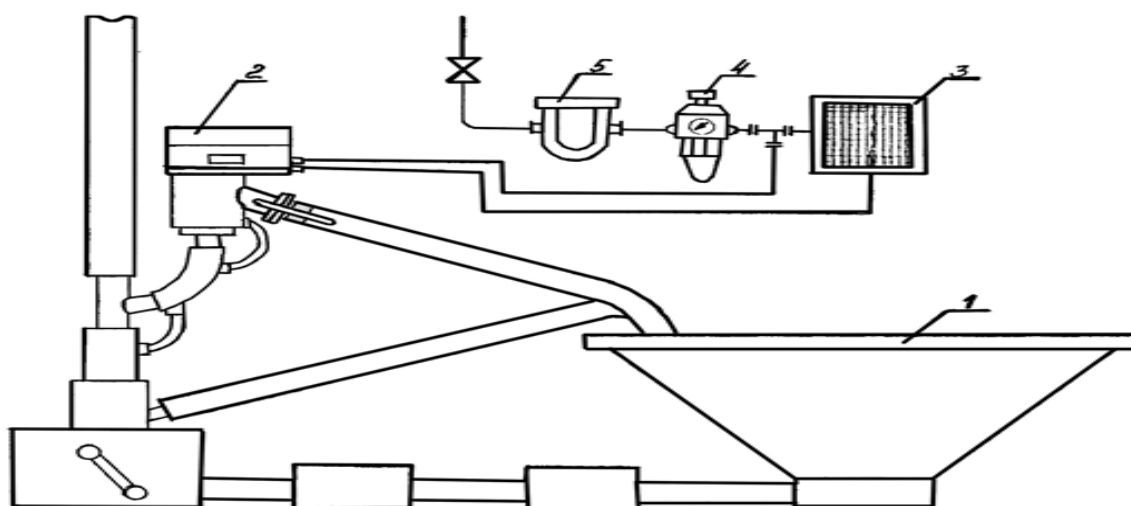


Рис. 3.40. Пример использования консистометра на производстве

Описанный прибор может с успехом применяться при контроле в потоке консистенции и текстуры различных кондитерских масс.

3.4.8. Автоматизация контроля вкуса

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», а также разделом 3.2. III главы «Выбор наиболее важных органолептических показателей качества кондитерской продукции, подлежащих автоматическому контролю в потоке на каждой стадии производства», одним из наиболее важных органолептических показателей качества, который необходимо отслеживать в потоке является вкус.

Обобщенная схема системы оценки качества кондитерских изделий показана на рисунке 3.41.



Рис. 3.41. Обобщенная схема системы оценки качества кондитерских изделий.

Выбор группы основных информационных параметров необходим для формировании обучающей выборки и подбора затем оптимального количества наборов тестовых данных. Подбор структуры сети осуществляется на основании особенностей поставленной задачи. На рисунке 3.42 представлена модель автоматизации мониторинга вкуса изделий [25]:



Рис. 3.42. Модель автоматизации мониторинга вкуса

\bar{X}_{tec} – входной вектор параметров технологического процесса;

\bar{X}_{lab} – входной вектор показателей качества сырья и полуфабрикатов, полученных лабораториями;

\bar{X}_{qual} – входной вектор показатели качества сырья и п олуфабрикатов.

$$\bar{Y} = F(\bar{X}_{tec}, \bar{X}_{lab}, \bar{X}_{qual}) \quad (3.6)$$

\bar{X}_{qual} определяется до начала производства и во время ТП = const. Поэтому

$$\bar{Y} = F(\bar{X}_{tec}, \bar{X}_{lab}) \quad (3.7)$$

Стадии построения виртуального датчика мониторинга вкуса показаны на рисунке 3.43 [25].

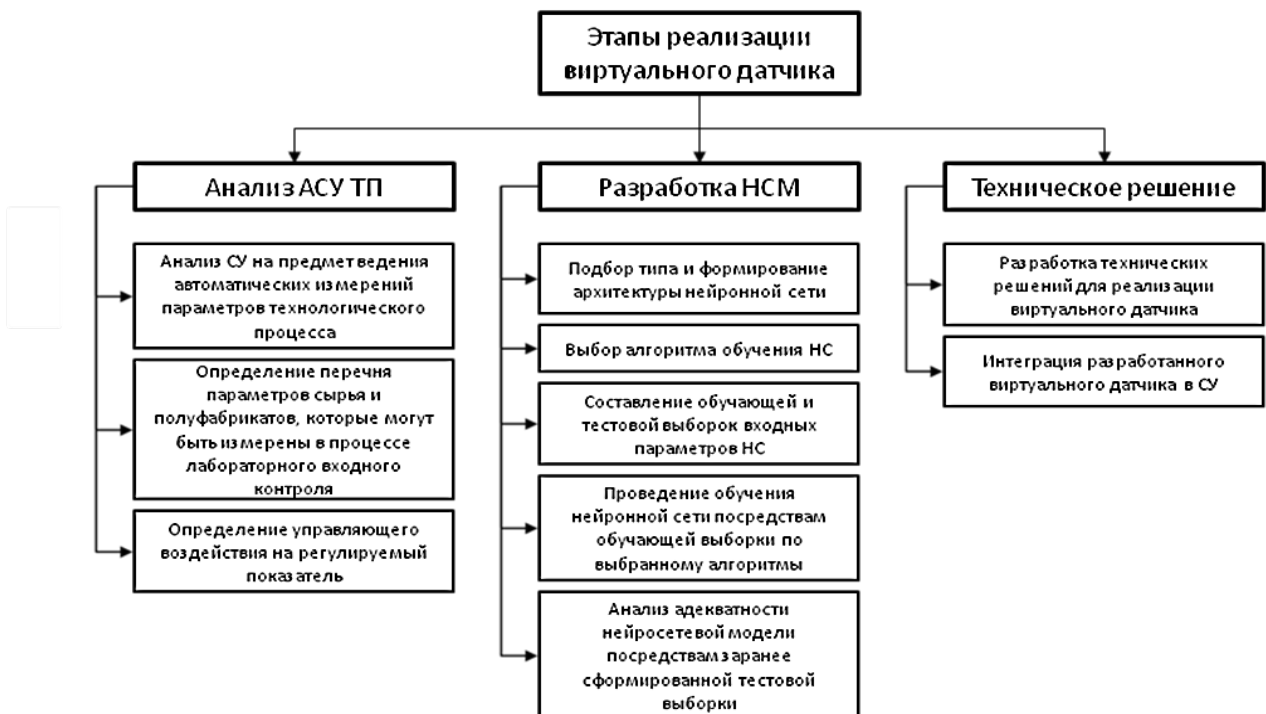


Рис. 3.43. Стадии построения виртуального датчика мониторинга вкуса

Проведенные экспериментальные исследования, показали перспективность применения для решения задачи автоматизации определения вкуса кондитерских изделий многослойных НС прямого распространения, типа многослойный персептрон (рисунок 3.44).

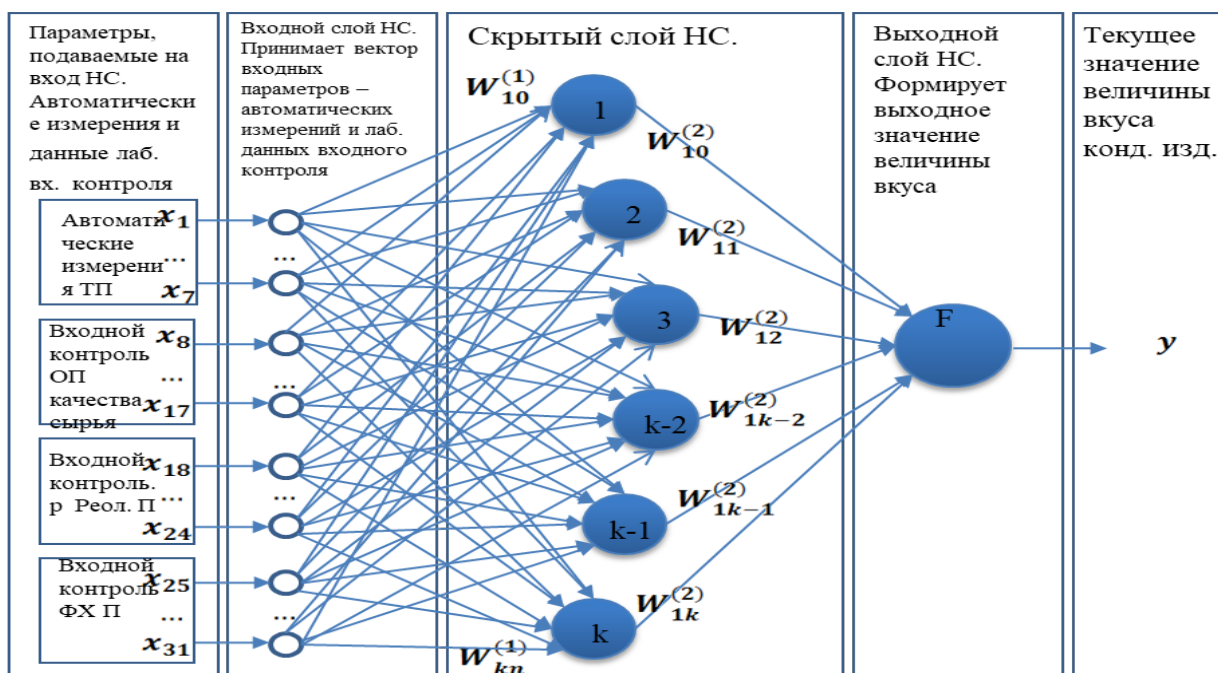


Рис. 3.44. Многослойные НС прямого распространения

В качестве алгоритма обучения сети был выбран градиентный метод обратного распространения ошибки, который является одним из наиболее эффективных методов обучения многослойных нейронных сетей [25].

Процесс обучения нейросети представлен на рисунке 3.45. По мере процесса обучения, который происходит по выбранному алгоритму, на протяжении работы сети минимизируется ошибка обучения.



Рис. 3.45. Процесс обучения нейросети

Полученные НС данные были проверены экспериментальным путем 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 показана на рисунке 3.46.

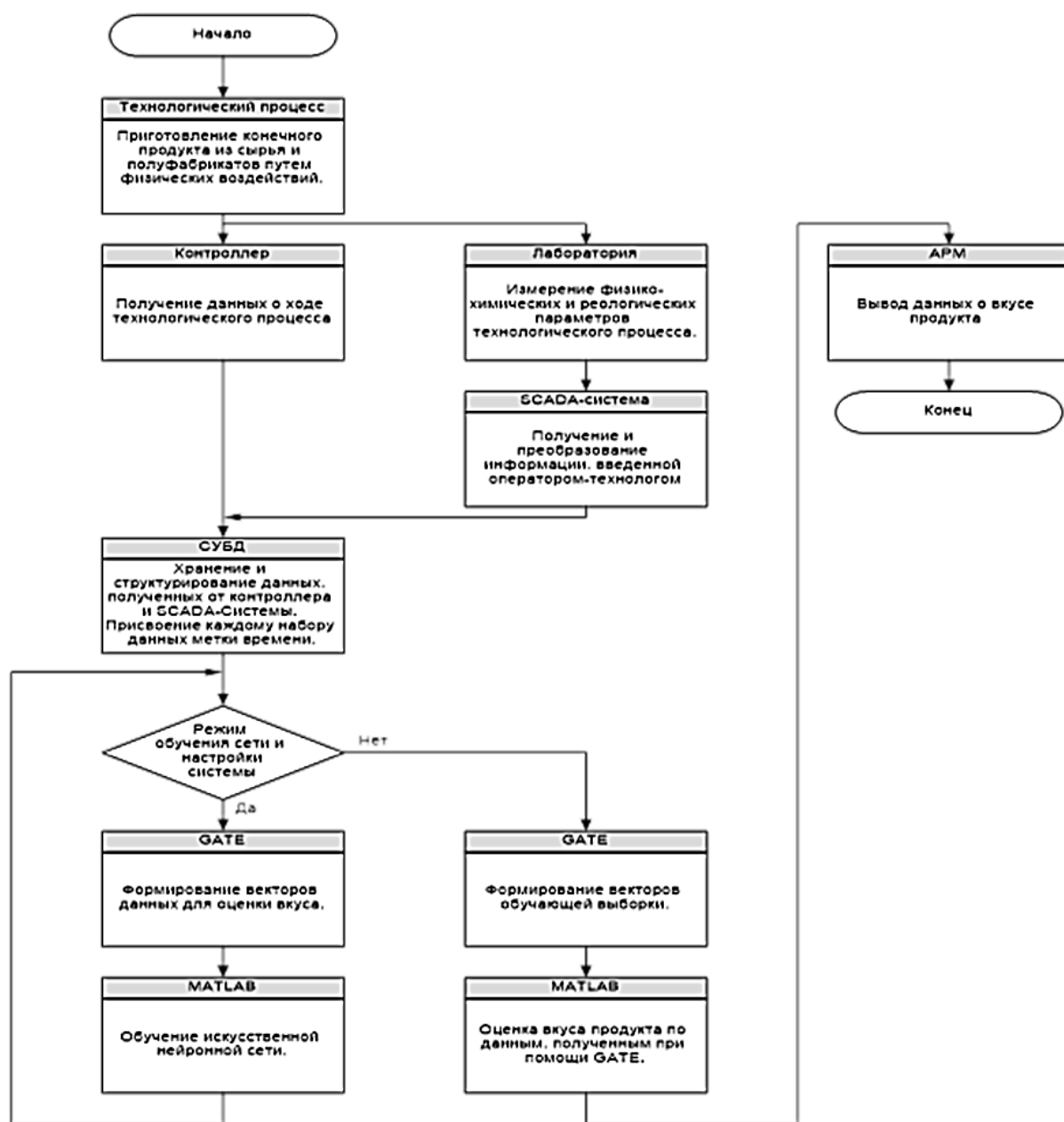


Рис. 3.46. Процедура работы ПАК

ПАК является основным элементом ИАСКиУК кондитерской продукции и описан в наших статьях [25 – 27, 31, 32].

3.4.9. Автоматизация контроля запаха

Одним из важнейших органолептических показателей качества кондитерской продукции, а также используемого для их производства сырья и полуфабрикатов является запах [173]. Запах является необходимым органолептическим показателем контроля качества таких кондитерских изделий, как шоколад, помадные и пралиновые конфеты, сбивные конфеты, халва, мармелад, карамель, зефир, козинаки, драже, ирис, ликерные конфеты (глава 1, п.1.2). Очень важно проводить своевременный контроль запаха не только готовой кондитерской продукции, но также и используемого для приготовления этой продукции сырья (сахар-песок, сахар-рафинад, какао порошок, ликер, водка, коньяк, кофе, молоко, яйца, орехи, семена подсолнечника, вода, свежие плоды яблок, апельсина, лимона, какао бобов и так далее) [173, 203, 204, 212]. 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 и 3.1.6) было предписано, что существующие в настоящее время методы и способы оценки запаха различной кондитерской продукции субъективны и далеки от совершенства, поскольку эта оценка осуществляется органолептическим путем. Поэтому точность и достоверность таких значений зависит от квалификации, навыков и способности лиц, определяющих их.

Успешное решение этой задачи возможно при внедрении в производственный процесс интеллектуальных автоматизированных систем контроля (ИАСК) в потоке данного органолептического показателя качества кондитерских масс с использованием искусственных нейронных сетей (ИНС).

На рисунке 3.47 показана возможность автоматического контроля запаха кондитерской продукции с использованием нейросетевых технологий.

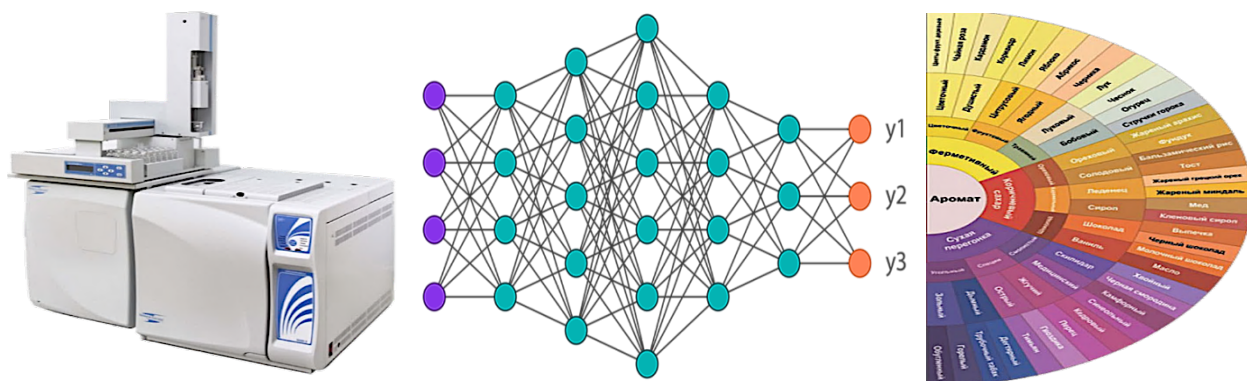


Рис. 3.47. Схема автоматического контроля запаха кондитерской продукции с использованием нейросетевых технологий

Структурная схема модели ИАСК запаха представлена на рисунке 3.48. Вся система будет разделена на два устройства: сервер и анализатор.

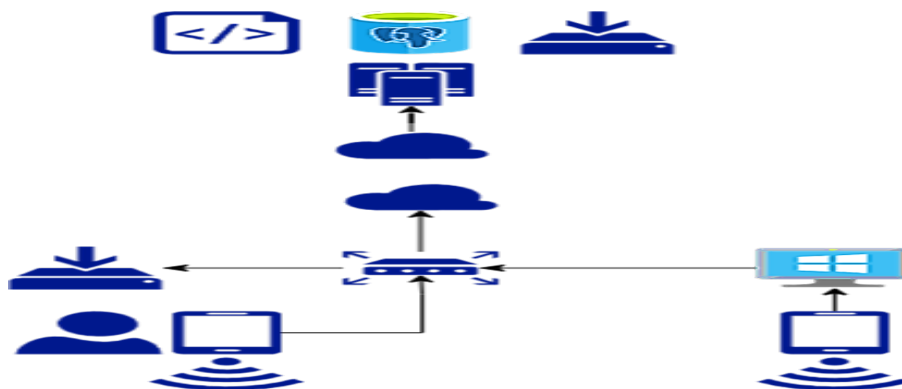


Рис. 3.48. Структурная схема модели САК запаха

Система будет модульной. В системе будет БД с множеством различных наборов для анализа запаха различной кондитерской продукции и сырья для ее производства. Например: разнообразная кондитерская продукция; алкоголь; молоко; кофе; семена подсолнечника; вода, какао бобы и т.д. [173, 203, 204, 212]. В каждый набор будут поставаться свои датчики и свое ПО. Модульная система обеспечивает: простоту настройки системы, небольшую стоимость.

Сервер интеллектуальной автоматизированной системы контроля (ИАСК) запаха (рисунок 3.49) может находиться, где угодно, но он должен быть подключен к системе. Подключение осуществляется через сеть интернет. Анализатор ИАСК запаха представлен на рисунке 3.50. Он может быть мобильным или стационарным.



Рис. 3.49 Сервер САК

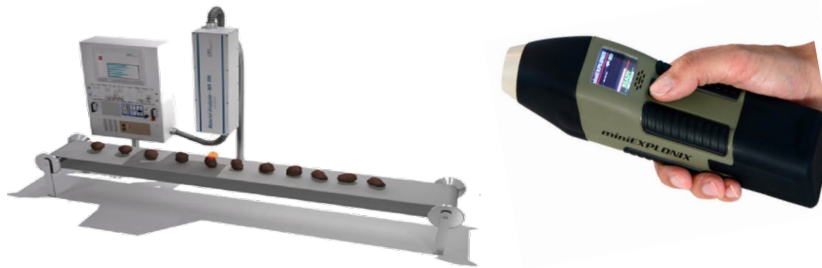


Рис. 3.50. Анализатор ИАСК запаха

Задачи анализатора: в режиме обучения: сканировать продукт, предлагать выбор результатов; передавать данные на сервер.

В режиме анализа: хранить созданные данные модулей, выбирать виды кондитерских продуктов, сырья, пользователей для анализа; выводить полученные результаты на экран/отправлять результат на ПК.

Цель: 1) собрать прототип устройства автоматического контроля запаха, написать ПО для сервера и анализатора; протестировать работоспособность системы.

На основе проведенных исследований была разработана аппаратная схема интеллектуального анализатора запаха, представленная на рисунке 3.51.

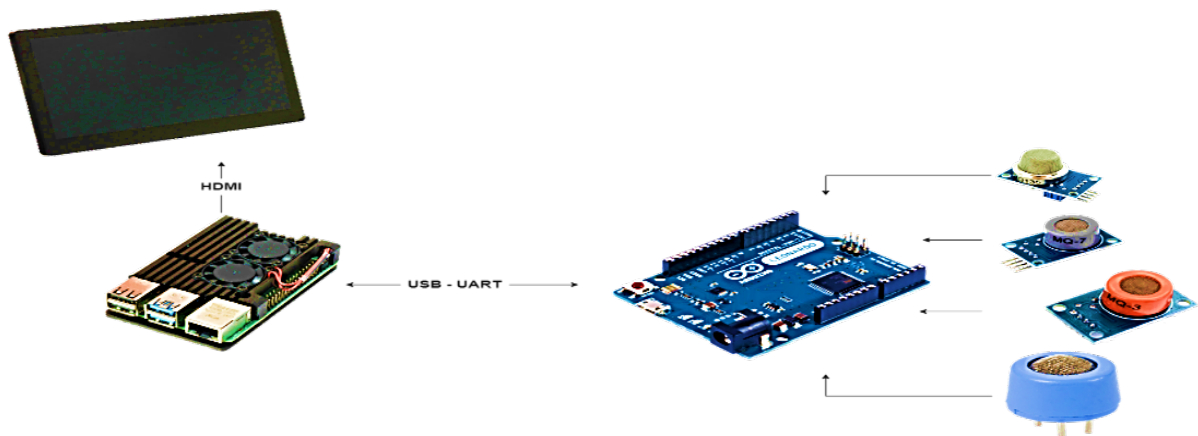


Рис. 3.51. Аппаратная схема интеллектуального анализатора запаха

Программные требования к микрокомпьютеру Raspberry Pi 4, располагающему несколькими портами USB 3.0, без которых попросту невозможно подключение накопителей, представлены в таблицах 3.2 и 3.3.

Таблица 3.2

Параметр	Минимальное рекомендуемое значение
Операционная система	Ubuntu 20.04
Архитектура (разрядность) ОС	32/64-bit
Количество ядер процессора	4
Объем оперативной памяти	8 Гб
Свободное дисковое пространство	120 Гб

Таблица 3.3

Программный компонент	Версия	Примечание
Python	3.9 и выше	На всех компонентах подсистемы должна быть одна версия дистрибутива
СУБД postgresql	14 и выше	На всех компонентах подсистемы должна быть одна версия дистрибутива
Nginx	1.18 и выше	

Программные требования к серверу представлены в таблицах 3.4 и 3.5.

Таблица 3.4

Параметр	Минимальное рекомендуемое значение
Операционная система	Ubuntu Server 20.04
Архитектура (разрядность) ОС	64-bit
Количество ядер процессора	8
Объем оперативной памяти	16 Гб
Свободное дисковое пространство	512Гб

Таблица 3.5

Программный компонент	Версия	Примечание
Python	3.9 и выше	На всех компонентах подсистемы должна быть одна версия дистрибутива
СУБД postgresql	14 и выше	На всех компонентах подсистемы должна быть одна версия дистрибутива
Nginx	1.18 и выше	

Анализ проведенных нами исследований показал необходимость создания базы данных (БД) о запахах различной кондитерской продукции и сырья для ее

производства. Для проведения экспериментов и создания БД была выбрана собранная нами схема и отсканированы исследуемые нами продукты (лимоны и шоколад) для проверки работоспособности разработанного интеллектуального устройства. (рисунок 3.52).



Рис. 3.52. Кондитерские продукты для экспериментальных исследований

Схема базы данных представлена на рисунке 3.53.

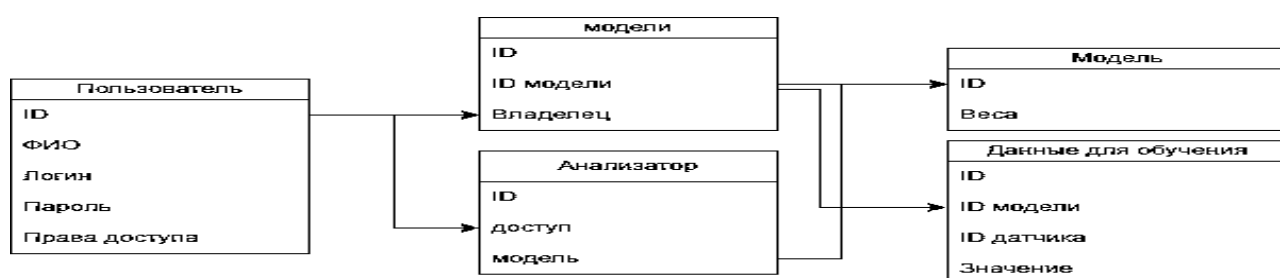


Рис. 3.53. Схема разработанной базы данных для проведения экспериментов.

Была разработана также нейронная сеть, представленная на рисунке 3.54.

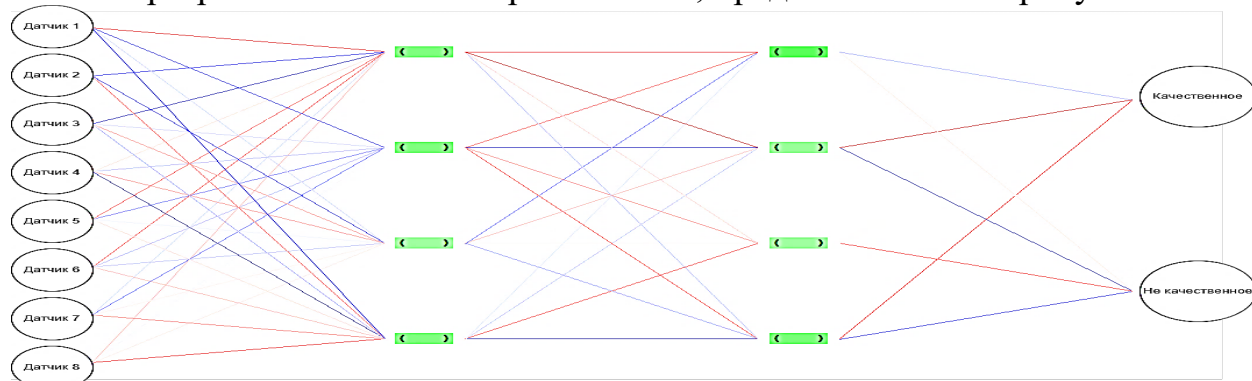


Рис. 3.54. Разработанная нейронная сеть

Схема программного обеспечения ИАСК запаха представлена на рисунке 3.55.

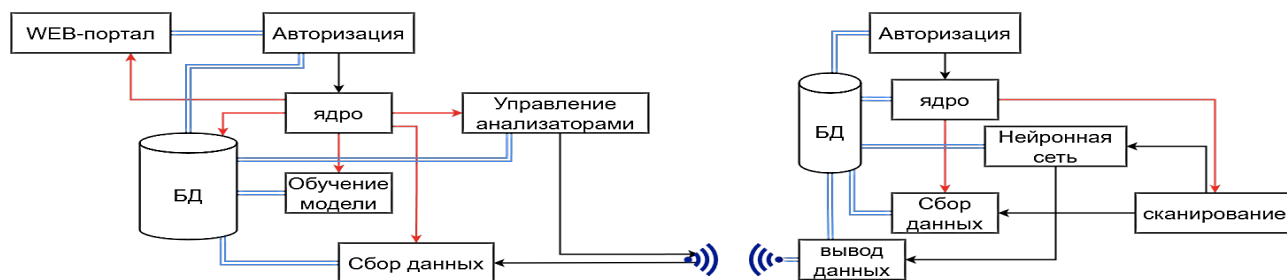


Рис. 3.55. Схема программного обеспечения САК запаха

Создание такой интеллектуальной автоматизированной системы контроля запаха (программно- аппаратного комплекса) разрешит в течение всех стадий технологического процесса; обеспечить стабильность ТП производства кондитерской продукции; существенно уменьшить уровень брака, снизить потери рабочего времени, сырья и энергии, повысить качество готовой продукции.

3.4.10. Автоматизация контроля цвета

Теоретические аспекты автоматизации контроля цвета кондитерских масс с использованием СКЗ

Схема автоматического контроля цвета сырья, полуфабрикатов и готовых кондитерских изделий с использованием СКЗ дана на рисунке 3.58.

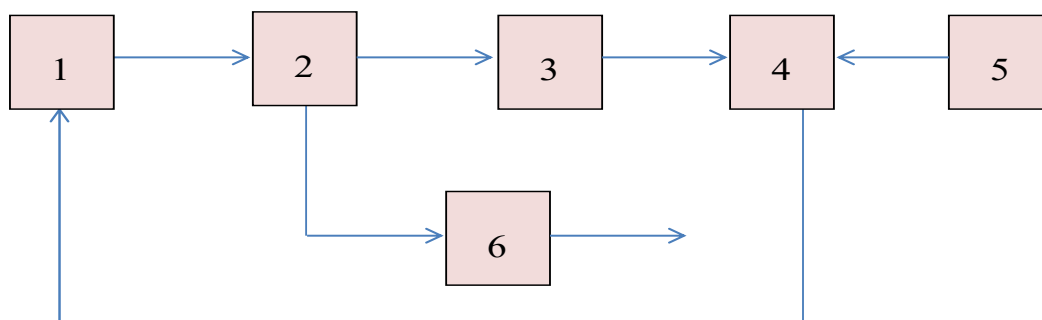


Рис. 3.58. Схема автоматического контроля цвета с использованием СКЗ

Для осуществления автоматического контроля в потоке цвета, рассмотрим более подробно последовательность проведения операций. Проведение анализа и обработки изображения цвета начинается с:

1) Получения 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.); глазированных помадных и пралиновых конфет (п.1.2.2.); 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 [35 – 42].

На рисунке 3.59 представлены фрагменты изображений шоколада различных видов (обыкновенный - а; молочный - б; белый - в; пористый - г).

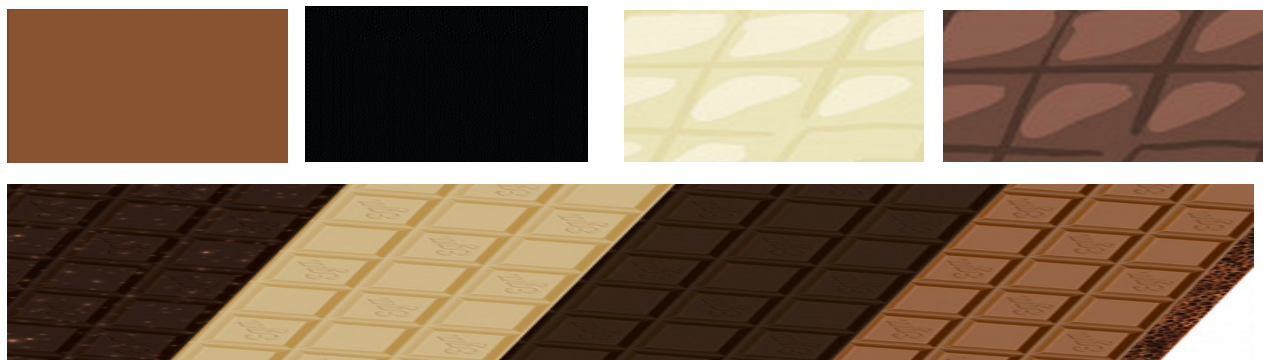


Рис. 3.59. Фотографии цвета различного ассортимента шоколада

Проведенный анализ достоинств и недостатков работы различных операторов (Роберта, Собеля, Превитта, детектор границ Canny, алгоритм Canny, вейвлетные детекторы границ, гибридные детекторы границ, морфологические операторы) 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.

Программно- аппаратный комплекс автоматического контроля цвета кондитерской продукции

Программно- аппаратный комплекс (ПАК) автоматического контроля цвета ИАСКиУК показан на рисунке 3.60. Информация об изменении цвета ви-

зуальных характеристик $Y(t)$ кондитерских изделий фиксируется цифровой видеокамерой (ЦВК) в момент времени t_n и передается на вход комплексного интеллектуального модуля сбора данных, системы обработки, хранения и принятия решений ИАСКиУК кондитерской продукции.

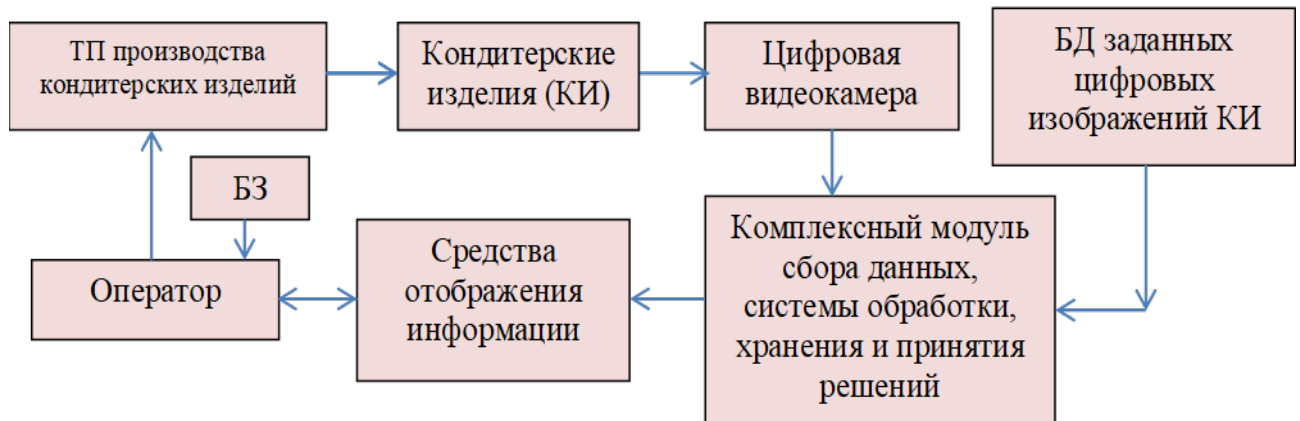


Рисунок 3.60. Структура ПАК АК цвета кондитерских изделий

Блок - схема алгоритма принятия решения на соответствие цвета

На рисунке 3.61 представлена блок - схема алгоритма принятия решения на соответствие цвета кондитерских изделий эталонному значению.

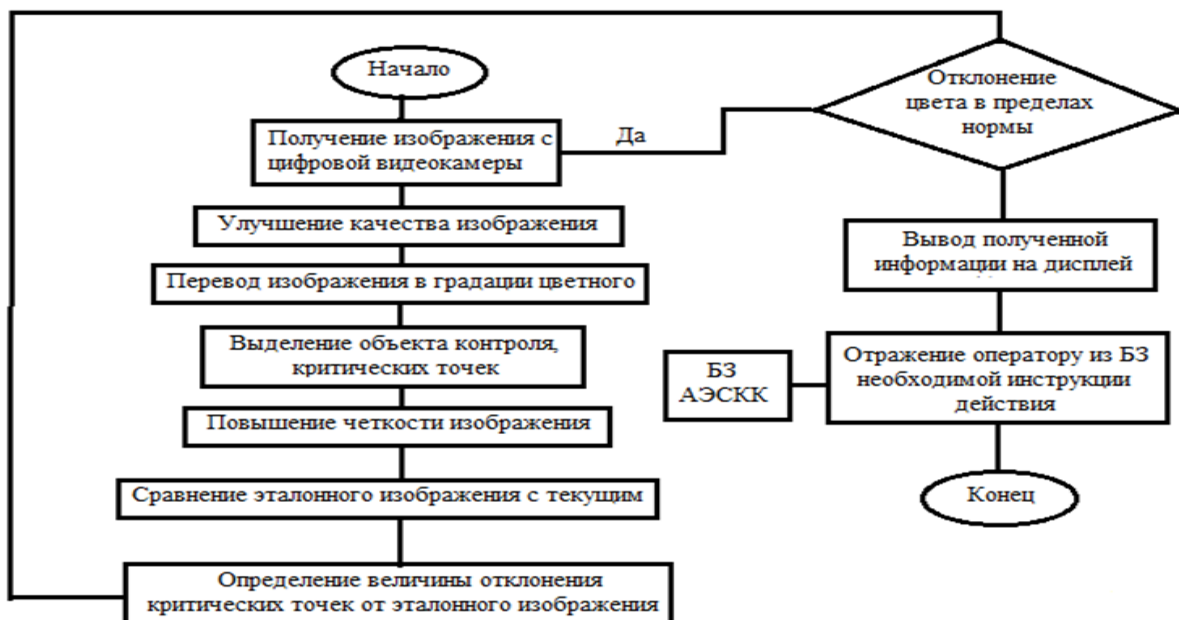


Рис. 3.61. Блок - схема алгоритма принятия решения на соответствие цвета кондитерских изделий эталонному значению

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 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 приготовления машин и аппаратов [18]. Непрерывный контроль вязкости необходим при приготовлении помадных и пралиновых масс, мармелада, фруктово-ягодных и других начинок [19]. Контроль качества сахарного сиропа, предназначенного для приготовления карамельных масс, проводят по величине вязкости [18]. Вязкость является также важным параметром, характеризующим качество патоки, сахаропаточного сиропа и фруктовых пюре [25].

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 [39, 40].

При оценке качества различных джемов, меда важную роль играет знание вязкости этих масс [18]. По ее величине судят о качестве различных взбитых пищевых масс (белков, яблочного пюре, сливочного крема и т.д.) [11, 18].

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 показателя.

Вискозиметрия является одним из наиболее распространенных методов изучения и оценки реологических свойств МКМ в установившемся и неуставившемся режимах. Обзор и анализ работ в этой области Б.М. Азароза, В.А. Арета, Г.А. Бермана, М.М. Благовещенской, А.М. Бражникова, М.П. Воларовича, А.С. Гинзбурга, А.В. Горбатова, С.Л. Гребенюка, А.С. Гришина, К.П. Гуськова, В.Д. Косого, Р.В. Кузьминского, О.Г. Лунина, Н.Н. Липатова, Ю.А. Мачихина, С.А. Мачихина, Г.А. Маршалкина, Н.И. Назарова, П.А. Ребиндера, И.А. Рогова, И.М. Ройтера, А.Я. Соколова, В.В. Щербатенко и др. показал, что знание реологических свойств пищевых масс позволяет [18 – 20, 25, 60, 61]: выявить закономерности течения различных процессов на всех стадиях производства; определить технологические свойства полуфабрикатов и готовых изделий, приготовленных из различных партий сырья; разработать эффективные способы переработки различных МКМ; разработать методы инженерных расчетов производительности и мощности, геометрических, кинематических и динамических параметров формующих машин со шнековыми, валковыми и шестеренными нагнетателями при формовании выпрессовыванием, прокаткой, закаткой, размазкой, отливкой, отсадкой, а также при прессовании сыпучих масс; решить многие проблемы технологической переработки МКМ.

В связи с важностью знания и учета реологических свойств в таких измерениях заинтересованы практически все отрасли кондитерской промышленности, так как автоматизация ТП производства кондитерских изделий невозможны без получения в потоке оперативной информации об основных параметрах качества полуфабрикатов и готовой продукции, к числу которых, в первую очередь, относится вязкость.

Обзор существующих лабораторных приборов контроля вязкости пищевых масс показал, что они: не отвечают современным требованиям интеллектуализации и не могут обеспечивать стабилизацию качества готовой продукции; не пригодны для оценки состояния приготавливаемых масс и учета степени их обработки в производственных условиях, так как требует длительного времени на проведение исследования и обработку полученных данных [204].

Вязкость является наиболее информативным, наиболее значимым показателем качества производимой продукции, поэтому возникает необходимость в создании современных интеллектуальных средств контроля вязкости кондитерских масс, работающих в производственных условиях в потоке и реагирующих в большой степени на изменения технологических и режимных параметров.

Нами разработана конструкция цифрового ротационного вязкозиметра с диапазоном измерения вязкости $10^{-6} - 10^{12}$ Па с, который может быть использован как на производстве при контроле состояния высоковязких МПМ, так и в научных исследованиях (рисунки 3.62 и 3.63).

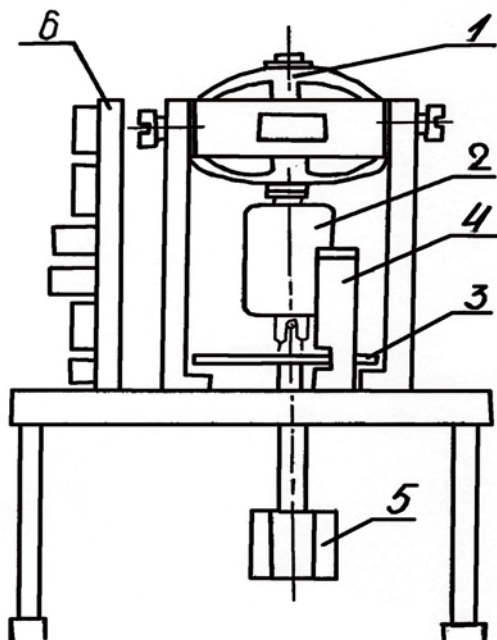


Рис. 3.62. Схема конструкции цифрового ротационного вязкозиметра

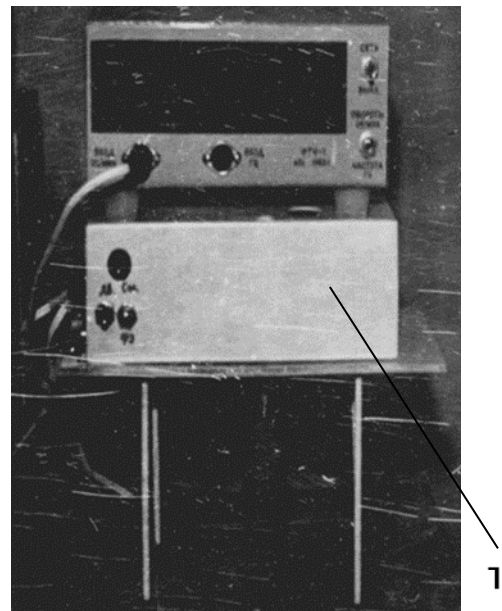


Рис. 3.63. Внешний вид макета цифрового ротационного вязкозиметра

Органы управления (тумблеры "Вкл." и "Выкл.") с лампами световой индикации вынесены в переднюю часть корпуса на панель управления. Для световой индикации работы прибора служат сигнальные лампы Н₂, Н₃ и Н₄. Лампа Н₂ предназначена для сигнализации включения прибора в сеть, Н₃ – для сигнализации работы электродвигателя и Н₄ - для сигнализации включения электромагнитной муфты сцепления.

Представленный вискозиметр основан не на определении силы тока, потребляемой электродвигателем привода вращающегося тела (которая зависит не только от увеличения или уменьшения вязкости, большое влияние оказывают также и другие факторы, например, стабильность электропитания, механические потери на трение в подшипниках и т.д.), а на точном измерении времени торможения ЧЭ до полной остановки его после отключения электродвигателя.

Принципиальная электрическая схема первичного преобразователя вязкости ротационного цифрового вискозиметра представлена на рис. 3.64.

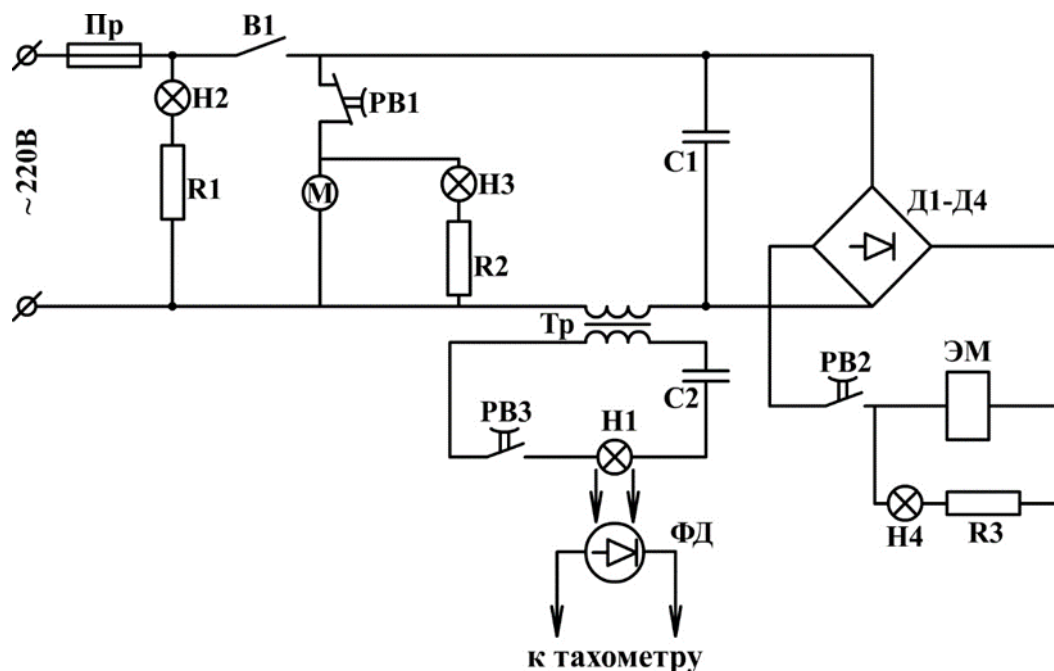


Рис. 3.64. Принципиальная электрическая схема первичного преобразователя вязкости ротационного цифрового вискозиметра

При включении прибора в сеть загорается неоновая лампочка H_2 , вынесенная на панель управления для контроля включения прибора в сеть. При включении тумблера B_1 , расположенного также на панели управления, напряжение подается на электродвигатель M . Контроль включения электродвигателя осуществляется неоновой лампой H_3 , вынесенной на панель управления. При достижении электродвигателем заданного числа оборотов на электронном блоке управления (работа данного блока будет описана ниже) срабатывает реле времени. При этом одновременно размыкается контакт PB_1 и замыкаются контакты PB_2 и PB_3 . При размыкании контакта PB_1 цепь питания электродвигателя обесточивается, электродвигатель M отключается. При этом отключается и лампа H_3 . Одновременно с этим замыкается контакт PB_2 . Питающее напряжение подается на катушку электромагнитной муфты сцепления. Она срабатывает и разрывает механическую связь ротора электродвигателя с валом ЧЭ, этот режим работы контролируется включаемой при этом неоновой лампочкой H_4 , находящейся на панели управления. Электромагнитная муфта сцепления ЭМ питается напряжением 120В постоянного тока. Для получения такого напряжения применяется выпрямительный мост на диодах $D_1 - D_4$. Конденсатор обеспечивает падение напряжения 220В до 120В. В схеме использован конденсатор C_1 неполярный 20мкфх400В. При замыкании контакта PB_3 питание подается на H_1 , освещающую фотодиод ФД. C_2 используется в качестве гасящего сопротивления.

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 [18, 25 - 49].

Были проведены экспериментальное исследование описанного выше прибора, которые позволили установить следующую его техническую характеристику:

предел измерения вязкости, Па с

давление измеряемой среды в зоне установки первичного преобразователя, МПа, не менее	6,0
напряжение питания	220±(5-15)%
температура измеряемой среды в зоне установки первичного преобразователя, °С	273-363
относительная погрешность, %, не более	±2,5
габаритные размеры, м, не более	
первичный преобразователь вязкости	0,35x0,12x0,30
блок индикации	0,25x0,10x0,08
масса прибора, кг, не более	6

Выбранный метод измерения определяет функциональные структуры устройств, входящих в состав вискозиметра. Описанные выше элементы, входящие в состав вискозиметра, могут комбинироваться в различных сочетаниях.

Кроме описанного выше ротационного цифрового вискозиметра, ниже рассмотрены и другие возможные технические решения основных узлов этих вискозиметров, приведены схемы их конструктивного оформления.

Разработана модификация описанного цифрового ротационного вискозиметра для автоматического контроля высоковязких кондитерских масс в потоке с использованием программируемых технических средств (рисунки 3.65 и 3.66).

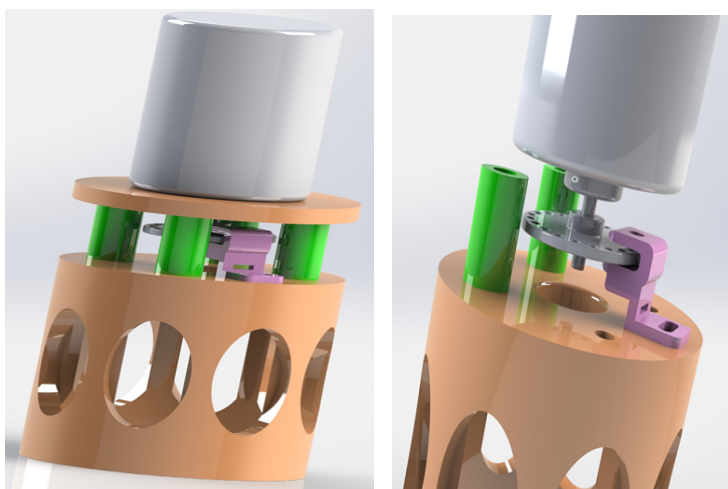


Рис. 3.65. Макет первичного преобразователя вязкости



Рис. 3.66. Блок цифровой индикации и автоматизации

В вискозиметре была использована платформа Arduino. Основой данного прибора - Arduino Uno (рисунки 3.67, 3.68) является микроконтроллер, который

реализует разработанный нами алгоритм, выполняет функцию счетчика импульсов от первичного преобразователя, а также отображает информацию на дисплее (рисунок 3.67) и управляет электромагнитной муфтой.

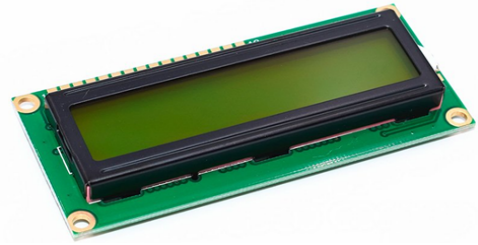
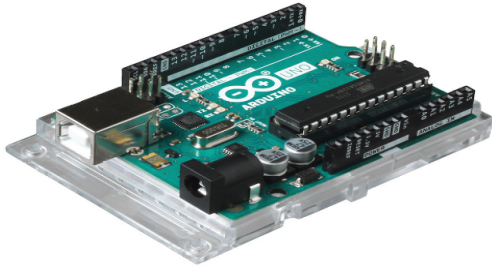


Рис. 3.67. Микроконтроллер Arduino Uno Рис. 3.68. Дисплей LCD 1602

Внутри прибора расположены микроконтроллер Arduino (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 Arduino подает напряжение на электромагнитную муфту.

Пример алгоритма на языке C представлен на рисунке 3.68.

```

#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++;
}

```

Рис. 3.68. Часть исходного кода алгоритма на языке C

Таким образом, было проведено исследование и разработан прототип автоматизированного ротационного метода контроля вязкости шоколадной массы

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 IoT 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 сырья на различных технологических участках является одним из ключевых критериев. В связи с этим существует актуальность проработки концепции создания современных цифровых вискозиметров с использованием технологий промышленного интернета вещей, что позволит избежать проблем интеграции и передачи данных в системы IoT управления предприятием.

Использование подходов промышленного интернета вещей позволяет операторам и технологам гибко контролировать технологические параметры процесса (рисунок 3.69).

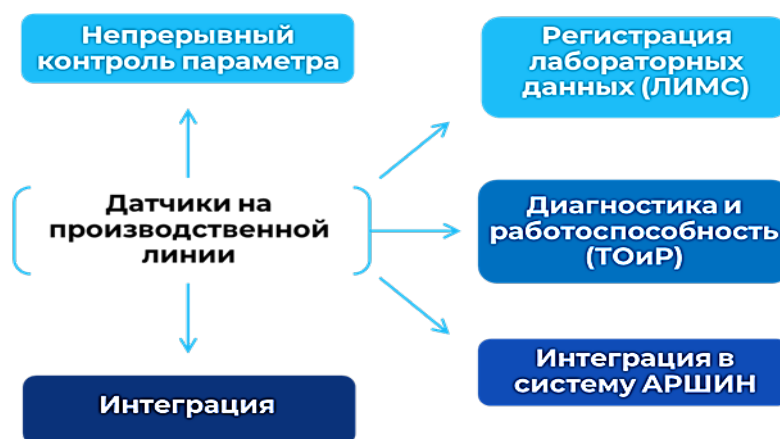


Рис. 3.69. Возможности датчиков на базе интернета вещей, работающих в потоке на линиях производства кондитерской продукции

Такой подход позволит:

-непрерывно контролировать технологический параметр вязкости в потоке;

- производить интеграцию в системы ПоТ посредством стандарта OPC UA;
- передать и зарегистрировать данные в ИАСКиУК 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, которая обеспечивает выполнение законодательных норм о единстве СИ - средств измерений).

Общая структура разработанного вискозиметра представлена на рисунке 3.70.

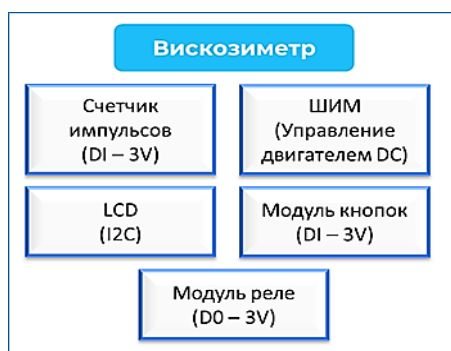


Рис. 3.70. Общая структура цифрового ротационного вискозиметра

Для возможности интеграции данного вискозиметра в сеть промышленного интернета вещей общая структура прибора (рисунок 3.107) была дополнена модулями коммуникации (Wi-Fi, Ethernet или др.). Также проведен анализ существующих протоколов связи для интеграции вискозиметра в системы ПоТ, ЛИМС, АРШИН и другие. Полученная структура вискозиметра с модулями коммуникации представлена на рисунке 3.71.



Рисунок 3.71. Структура вискозиметра с коммуникационными модулями

Для реализации возможности интеграции цифрового ротационного вискозиметра с ИТ и другими промышленными системами необходимо использовать стандартизированный протокол связи.

На рисунке 3.72 представлен сетевой стек и протоколы передачи данных ИТ платформы. Основными стандартами передачи данных в ИТ промышленных системах являются: MQTT; DDS; OPC UA; TSN.

В промышленных системах автоматизации кондитерских производств используются надежные шины и каналы связи. Но, при этом необходимо иметь возможность гибкой автоматической конфигурации каналов передачи данных.

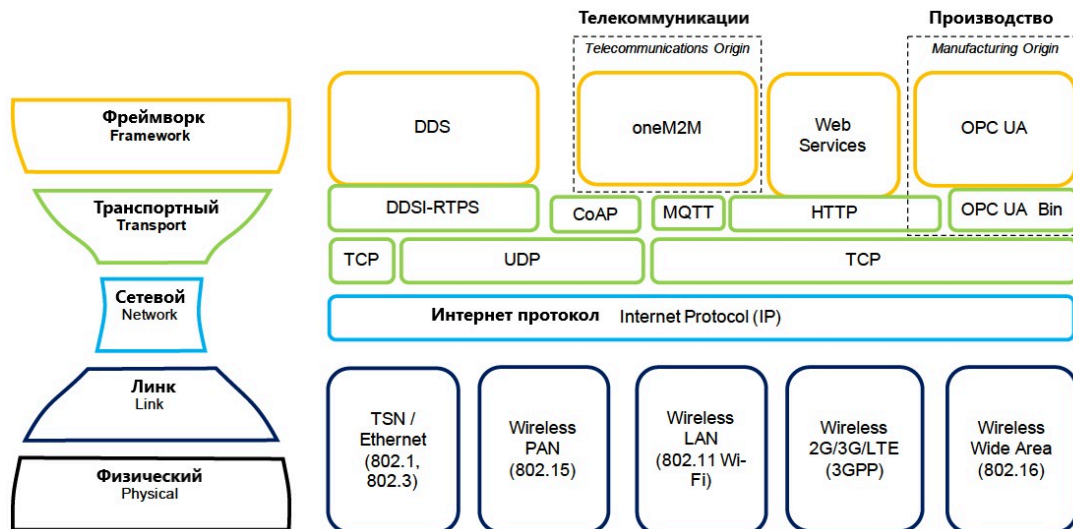


Рис. 3.72.. Сетевой стек и протоколы передачи данных ИТ платформы

OPC UA в отличие от MQTT, DDS и TSN стандартов позволяет в автоматическом режиме без предварительной настройки организовать передачу данных между всеми компонентами системы.

В качестве управляющего микропроцессора был выбран кристалл на базе архитектуры Cortex M0+. В качестве готовой архитектуры была выбрана RP2040, которая имеет несколько модификаций – Raspberry PI Pico W (рисунок 3.73а), Raspberry PI Pico (рисунок 3.73б) и Raspberry PI Pico Zero (рисунок 3.73в).

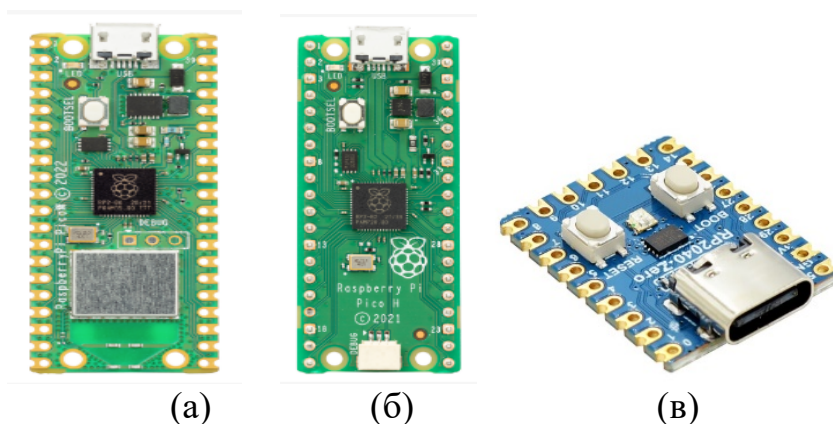


Рис. 3.73. Варианты модификаций микроконтроллера Raspberry PI Pico
Raspberry PI Pico W с Wi-Fi модулем (а), Raspberry PI Pico без модуля Wi-Fi (б), Raspberry PI Pico Zero (в)

В качестве готовой платы для реализации цифрового ротационного вискозиметра была выбрана плата Raspberry PI Pico Zero в связи с ее минимальными размерами и имеющейся следующей характеристикой:

- 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.

Дополнительные периферийные модули, используемые для реализации необходимых функций ПОТ вискозиметра представлены на рисунке 3.74.

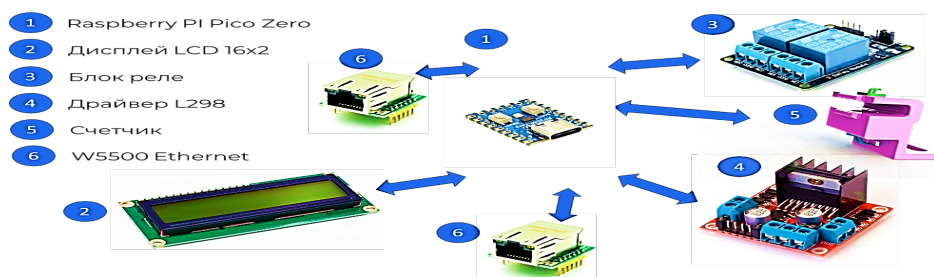


Рис. 3.74. Дополнительные периферийные модули

Для проведения экспериментов была выполнена сборка прототипа ротационного вискозиметра и разработано для него программное обеспечение. На рисунке 3.75 представлена таблица подключений дополнительных периферийных модулей к микроконтроллеру Raspberry PI Pico Zero.

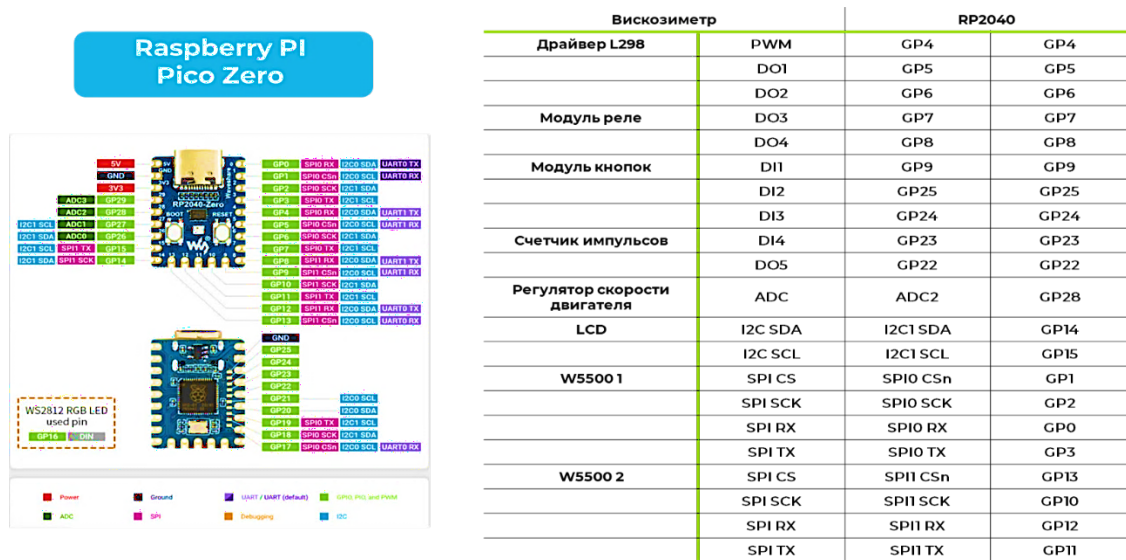


Рис. 3.75. Таблица подключений к микроконтроллеру Raspberry PI Pico Zero

Прототип устройства был размещен в корпусе, разработанном с учетом компонентов. Корпус был распечатан на 3D принтере. На рисунке 3.76 представлен внешний вид собранного прототипа ротационного вискозиметра.

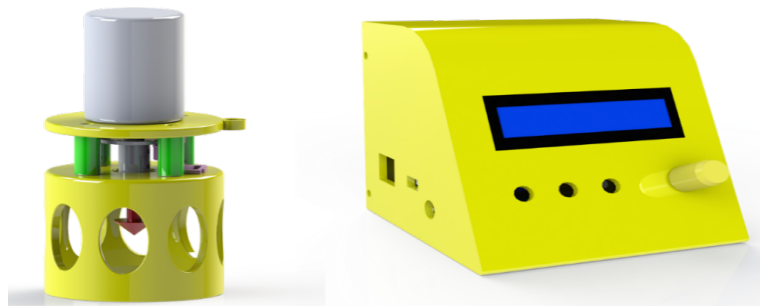


Рисунок 3.76. Прототип ротационного IoT вискозиметра

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), которые будут выполняться в ОС FreeRTOS: клиент OPC UA; алгоритм работы вискозиметра; диагностика работы прибора; синхронизация времени (клиент NTP).

В промышленных системах ПоТ датчики должны иметь возможность сквозной передачи данных для реализации многоуровневой сетевой архитектуры. На рисунке 4.77 представлено программное взаимодействие нескольких ПоТ вискозиметров, объединенных последовательно друг с другом. Для надежности сетевых соединений может реализована кольцевая топология сети.

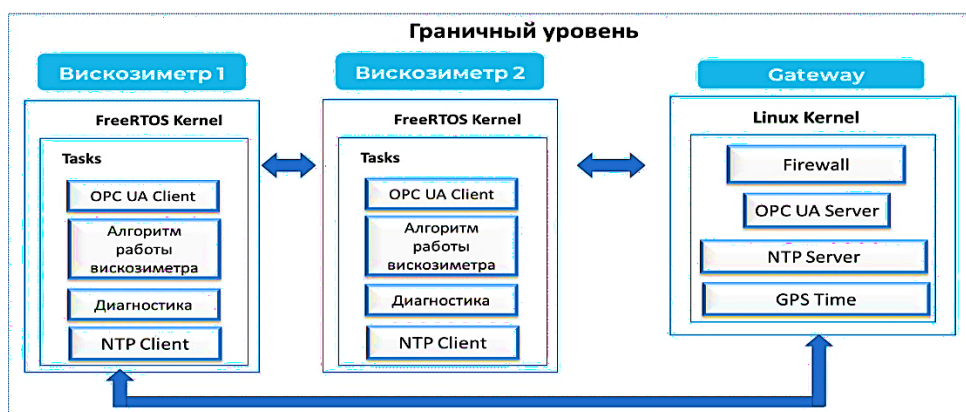


Рис. 3.77. Программная архитектура нескольких ПоТ вискозиметров

В соответствии с ПИРА ПоТ концепцией вискозиметры находятся на «граничном уровне». Все потоки данных с вискозиметров, вторичная обработка и фильтрация выполняются в «Gateway» - устройстве, которое также находится на «граничном уровне».

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.

Разработанный прототип ротационного ПоТ вискозиметра, представленный на рисунке 3.110, предложенная архитектура цифрового ротационного вискозиметра на базе технологий промышленного интернета вещей (платформы ПоТ) позволит в перспективе эффективно формировать, обрабатывать и передавать данные, с последующей их интеграцией в существующие системы ЛИМС, АРШИН, ТОиР, а также в разрабатываемую (ИАСКиРК) кондитерской продукции и гибко встраиваться в линии ТП производства производственные процессы.

Гибкость и удобство интеграции будет обеспечено за счет использования ПОТ стандарта OPC UA передачи данных.

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 продукции на промышленных предприятиях

- Рассмотрены и проанализированы существующие на кондитерских предприятиях системы АСУТП, АСУП.

- Исследованы и проанализированы существующие в настоящее время инструменты контроля органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий, используемые в процессе производства кондитерской продукции.

- Сделан выбор наиболее важных органолептических показателей качества кондитерской продукции, подлежащих автоматическому контролю.

- Рассмотрены и проанализированы возможности использования существующих новых интеллектуальных инструментов мониторинга качества кондитерской продукции.

- Разработаны средства автоматизации контроля в потоке основных органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий.

- Разработан модуль (программно- аппаратный комплекс) автоматического контроля в потоке коэффициента извлечения примесей в сырье (на примере семян подсолнечника).

- Представлен вариант построения прибора для автоматического контроля угла естественного откоса сыпучих пищевых масс в потоке. Разрабо-

таны: блок-схема алгоритма работы прибора для автоматического определения угла естественного откоса пищевых сыпучих масс; общий вид прибора для автоматического определения угла естественного откоса сыпучих пищевых масс. Описан принцип его работы.

- Разработан метод автоматизации контроля в потоке блеска поверхности готовых кондитерских изделий. Представлен принцип работы датчика автоматического контроля блеска поверхности готовых кондитерских изделий, для создания которого решены следующие задачи: разработана оптическая осветительная система контроля поверхности покрытий кондитерских изделий (на примере глазированных шоколадных конфет) различной геометрической формы; определен комплект оптических деталей, необходимых на изготовление макетов датчиков контроля блеска; выполнена сборка макетов этих датчиков.

- Разработан метод автоматизации контроля в потоке формы кондитерских изделий (на примере пористого шоколада и карамели).

- Разработан метод автоматизации контроля в потоке консистенции кондитерских масс. Разработана конструкция автоматического цифрового консистометра. Представлен пример схемы установки автоматического консистометра на temperирующей машине при производстве шоколада.

- Разработан метод автоматизации контроля в потоке вкуса.

- Разработан метод автоматизации контроля в потоке запаха кондитерских масс. Разработан модуль автоматического контроля запаха кондитерской продукции с использованием нейросетевых технологий; представлена структурная схема модели САК запаха; показана аппаратная схема интеллектуального анализатора запаха. Разработано ПО данной модульной системы.

- Представлен ПАК автоматического контроля цвета кондитерских масс с использованием интеллектуальных технологий.

- Предложена конструкция цифрового 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 таких 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 аппаратно-программная архитектура IoT ротационного вискозиметра с возможностью интеграции передачи данных в другие IoT платформы.

ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ, МАТЕМАТИЧЕСКИХ, СИТУАЦИОННЫХ И ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА КОНДИТЕРСКОЙ ПРОДУКЦИИ

Решение задачи создания интеллектуальных автоматизированных систем контроля и управления качеством кондитерской продукции в процессе производства возможно лишь при наличии соответствующих структурно-параметрических и математических 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.

4.1. Структурно – параметрические и математические модели процессов производства кондитерской продукции

Разработка ИАСКиУК кондитерской продукции невозможно без математического моделирования.

Успешное решение задачи оптимизации качества кондитерской 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. 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.

$$r_{ij} = \frac{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (\bar{x}_i - x_{ki})(\bar{x}_j - x_{kj})}{\sqrt{S_{x_i}^2} \sqrt{S_j^2}}, \quad (4.1)$$

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;

$S_{x_i}^2, S_j^2$ – 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 $\Delta x_i, \Delta x_j$:

$$\Delta x_i = \sum_{j=1}^{m_i} p_{ij} \Delta x_j ; \quad i = \overline{1, m_i} \quad (4.2)$$

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 пралиновых и помадных конфет

Параметрическая модель подготовки сырья к производству представлена на рисунке 4.1.

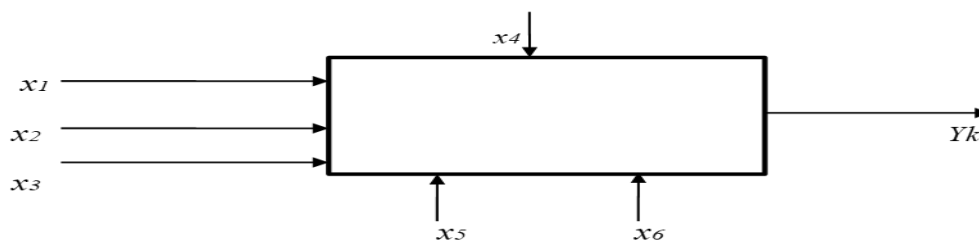


Рис. 4.1 Параметрическая модель подготовки сырья к производству

f – влагосодержание сахарного песка (с.п.) (13,5-14,5%) (X_1)

t – температура сахарного песка (25-40°C) (X_2)

$ГС$ – гранулометрический состав с.п. (20-90 мк) (X_3)

φ – относительная влажность воздуха (20-90%) (X_4)

P – расход воздуха (при сепарировании с.п.) (1200-1500 м³/т) (X_5)

n – частота колебаний сита при сепарировании с.п. (2,5-5 об/мин) (X_6)

Y_{Inc} – выходной параметр, характеризует качества основного сырья.

Структурно-параметрическое моделирование процесса подготовки сырья к производству сводилось к построению матриц взаимосвязей, расчет которых позволил получить математическую модель величины вкуса сахара песка (величина кристаллов сахара), удовлетворяющую текущим требованиям к регулированию ТП ПК.

$$Y_1 = C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + \dots + C_nX_n \quad (4.3)$$

Отсюда получаем следующий критерий качества:

$$Y_{1шт} = 0,35X_1 + 0,16X_2 + 0,39X_3 - 0,58X_4 + 0,5X_5 + 0,47X_6 \quad (4.4)$$

Таким образом, предложенный метод структурно-параметрического моделирования позволяет определить влияние входных параметров на величину $Y_{1шт}$. Полученные при этом наглядные графики для их анализа представлены на рисунке 4.2. Подробные расчеты и все полученные графики приведены в нашей статье [28].

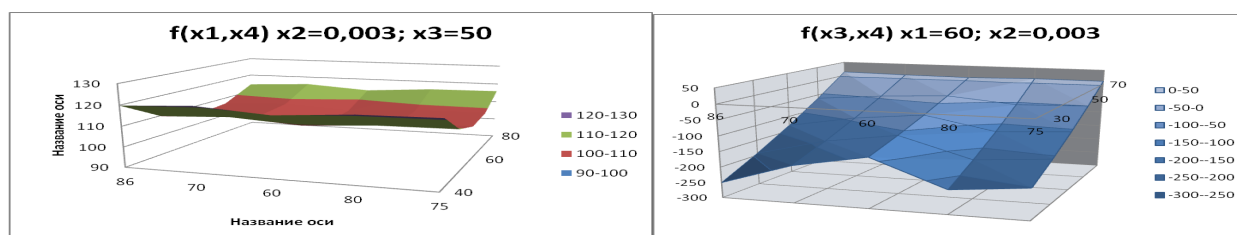


Рис. 4.2. Пример полученных графиков зависимостей выходного параметра от разных входных параметров.

Структурно-параметрическая модель процесса приготовления сахарного сиропа показана на рисунке 4.3.

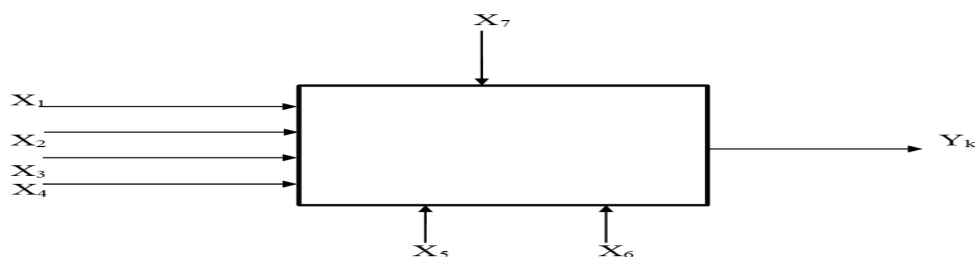


Рис. 4.3. Параметрическая модель процесса приготовления сахарного сиропа

Входные параметры:

X_1 – угол естественного откоса (для определения гранулометрического состава сахара – песка), град. 40 - 50

X_2 – pH от 6,0 до 7,5

X_3 – концентрация сахара в сиропе от 80 до 75%

X_4 – влажность сахара - песка 0,14 – 0,15 %

X_5 – частота перемешивания 28 – 35 об/мин

X_6 – время перемешивания, τ 1,0—1,5 мин.

X_7 – температура сахарного сиропа 90—95°C

X_8 – давление греющего пара в колонке 0,34—0,4 Мпа

Выходной параметр:

Y_{1cc} – вкус готового сахарного сиропа (величина кристаллов сахара в сахарном сиропе) (от 50 до 90 мкм).

На основании проведенных расчетов получен критерий качества - вкус сахарного сиропа Y_{1cc}

$$Y_{1cc} = 0,52X_1 + 0,24X_2 + 0,78X_3 - 0,42X_4 + 0,58X_5 + 0,68X_6 + 0,62X_7 + 0,45X_8 \quad (4.5)$$

Полученные результаты зависимости между выходным параметром и переменными входными параметрами были представлены в виде наглядных графиков для их анализа (часть полученных данных приведена на рисунке 4.4).

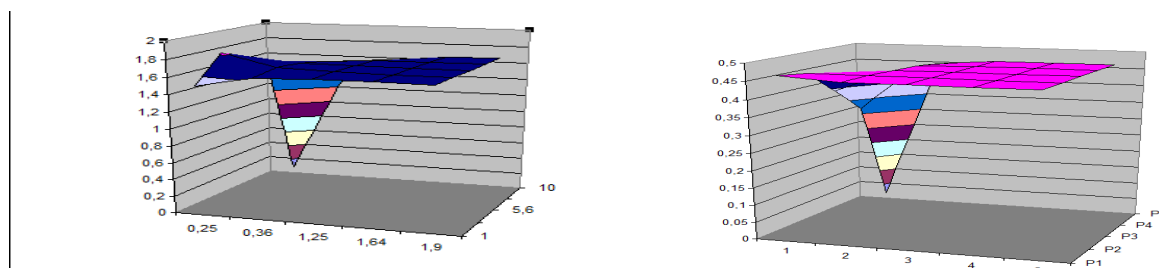


Рис.4.4. Пример полученных графиков зависимости выходного параметра при меняющихся X_1 и X_2 и постоянном X_3

Разработка СПМ модели процесса приготовления помадного сиропа

СП модель процесса приготовления помадного сиропа представлена на рисунке 4.5.

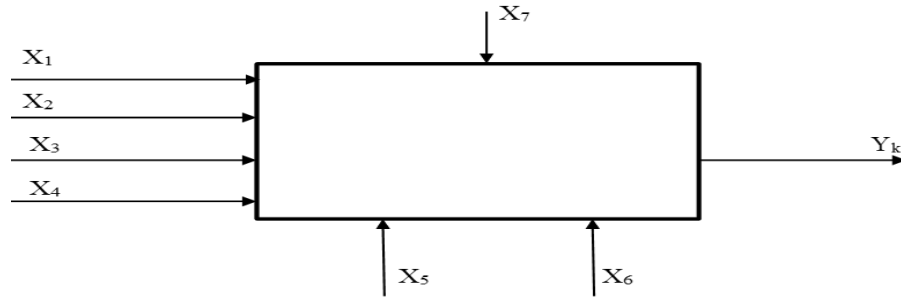


Рис. 4.5 СП модель процесса приготовления помадного сиропа

X_4 – вязкость сахарного сиропа, м от 13 до 20 Пас

X_5 – давление греющего пара в рубашке помадоварочной станции P_1 от 392 до 499 кПа

X_6 – давление внутри помадоварочной станции P_2 от 98 до 105 кПа

X_7 – время уваривания, τ 30—40 мин.

$Y_{\text{пс}}$ – качество готового помадного сиропа – вкус: величина кристаллов сахара в помадном сиропе (от 40 до 80 мкм).

$Y_{\text{пс}}$ ТП приготовления помадного сиропа:

$$Y_{\text{пс}} = 0,89X_1 - 0,65X_2 + 0,93X_3 + 0,82X_4 + 0,47X_5 + 0,54X_6 + 0,68X_7 \quad (4.6)$$

Полученные результаты зависимости между выходным параметром и переменными входными параметрами были представлены в виде наглядных графиков для их анализа (часть полученных данных приведена на рисунке 4.6).

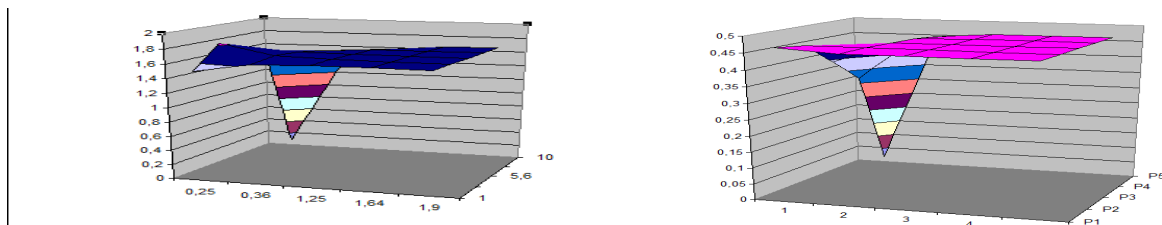


Рис.4.6. Зависимости между выходным параметром и переменными входными параметрами

Разработанная структурно – параметрическая модель процесса сбивания помадных масс представлена на рисунке 4.7

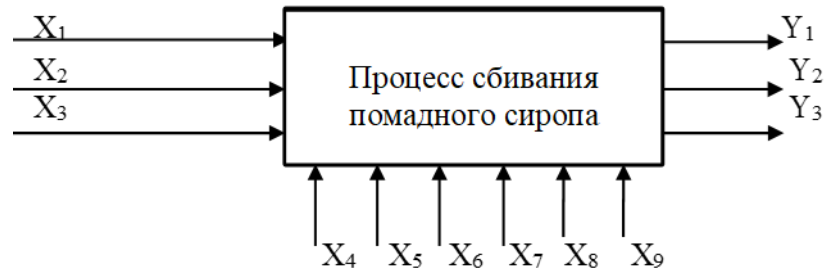


Рис. 4.7. Параметрическая модель процесса сбивания помадных конфет.

- X_1 – температура сиропа (п.с.), подаваемого на сбивание $T_{п.с.}$ от 105 до 109 °С;
 X_2 – вязкость подаваемого на сбивание п.с., η (от 9,0 Пас до 16 Пас);
 X_3 – массовая доля влаги подаваемого на сбивание п.с. W (от 15% до 19%);
 X_4 – плотность п.с. ρ (от 730 до 770 кг/м³);
 X_5 – давление пара перед началом сбивания P (от 98 кПа до 117 кПа);
 X_6 – время сбивания τ (от 7 до 10 минут)
 X_7 – температура процесса сбивания $T_{сб.}$ от 90°С до 100 °С;
 X_8 – температура воды в помадосбивальной машине $T_{х.в.}$ от 8°С до 12°С;
 X_9 – частота вращения сбивальных лопастей n (от 0,35 1/с до 0,65 1/с);
 $Y_{1спм}$ – величина кристаллов сахара в помадной массе (от 30 до 70 мкм).

Критерий качества исследуемого процесса:

$$Y_{1спм} = -0,76X_1 + 0,84X_2 - 0,62X_3 + 0,38X_4 + 0,24X_5 + 0,82X_6 + 0,14X_7 - 0,56X_8 + 0,56X_9 \quad (4.7)$$

Зависимости между выходным параметром $Y_{1спм}$ и переменными входными параметрами даны на рисунке 4.8.

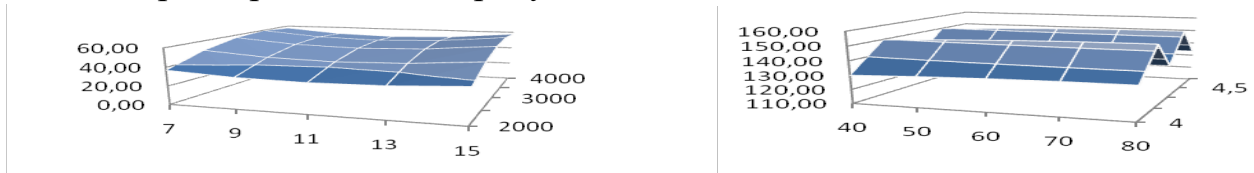


Рис.4.8. Зависимости между параметром $Y_{1спм}$ и входными параметрами

Разработанная СПМ процесса приготовления помадной конфетной массы представлена на рисунке 4.9.

- X_1 – объем поступающей помадной массы 7,5-8 т/час
 X_2 – температура поступающей помадной массы 75-80 °С
 X_3 – количество оборотов мешалки в темперирующей машине 50-60 в минуту
 X_4 – температура воды в рубашке темперирующей машины 40-50 °С
 $Y_{1км}$ – величина кристаллов сахаров конфетной массе (от 30 до 70 мкм),
 $Y_{2км}$ – вязкость
 $Y_{3км}$ – скорость выхода массы из матричного отверстия (от 9 до 15 мм/с)

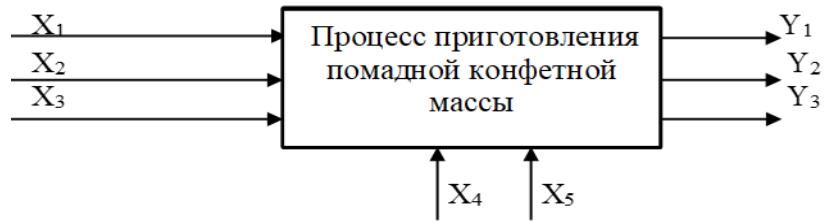


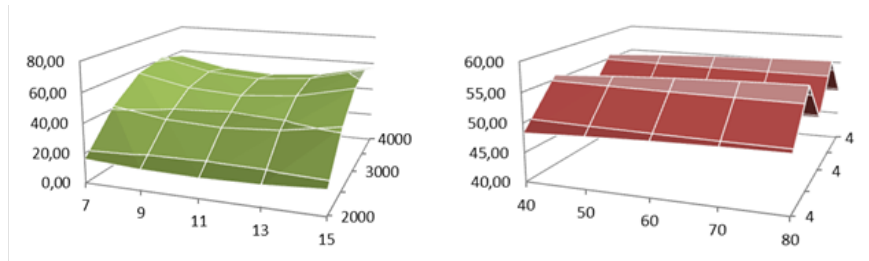
Рис. 4.9. СПМ процесса приготовления конфетной массы.

Критерий качества Y_k приготовления помадных конфетных масс:

$$Y_k = -0,64 X_1 + 0,86 X_2 - 0,72 X_3 + 0,82 X_4 + 0,68 X_5 \quad (4.7)$$

Наибольшее влияние оказывают температура поступающей помадной массы, а также количество оборотов мешалки в темперирующей машине.

Зависимости между Y_k и входными параметрами приведены на рисунке 4.10.



Рису. 4.10. Зависимости между параметром Y_k и входными параметрами

Разработанная структурно – параметрическая модель процесса формирования корпусов конфет показана на рисунке 4.11.

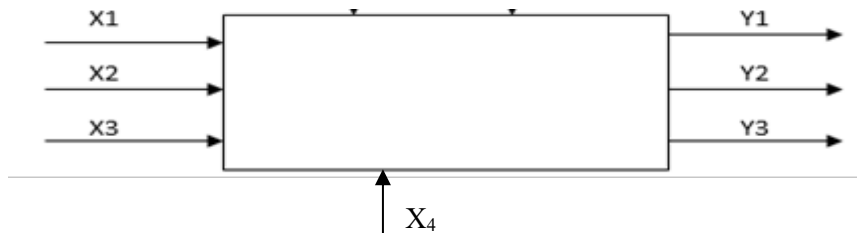


Рис. 4.11. СПМ процесса формирования корпусов конфет

X_1 - скорость выхода массы из матричного отверстия (от 9 до 15 мм/с);

X_2 – реологические свойства помадных масс (от 4×10^{-2} Пас до 32×10^{-2} Пас);

X_3 – температура помадной массы, поступающей на формование (от 32 C^0 до 42 C^0).

X_4 - скорость транспортной ленты при проведении эксперимента эксперимента была постоянной - 22,68 мм/с, (может меняться от 20 до 24,5 мм/с).

Описание выходных величин:

Y_1 - высота конфетного жгута на выходе (изменение высоты конфетного жгута в рабочем режиме может изменяться от 0,8 до 1,2 мм);

Y_2 – изменение размеров кристаллов сахара в конфетных массах от 30 до 70 мкм;
 Y_3 – цвет конфетных масс.

На основе проведенных исследований получена следующая математическая модель процесса формирования при производстве помадных конфет

$$\left. \begin{aligned} Y_1 &= 0,55 X_1 + 0,76 X_2 + 0,57 X_3 - 0,68 X_4 \\ Y_2 &= 0,52 X_2 \\ Y_3 &= 0,26 X_2 + 0,39 X_3 \end{aligned} \right\} \quad (4.8)$$

Коэффициенты уравнений рассчитывались с использованием программы Method. Изначально, как приведено выше, задавали входные параметры процесса формирования помадных масс. Приведенные на рисунке 4.12 часть полученных графиков наглядно демонстрируют экстремальные зависимости выходных параметров Y_i при одном постоянном входном параметре X_{i_n} и меняющихся остальных входных параметрах X_i .

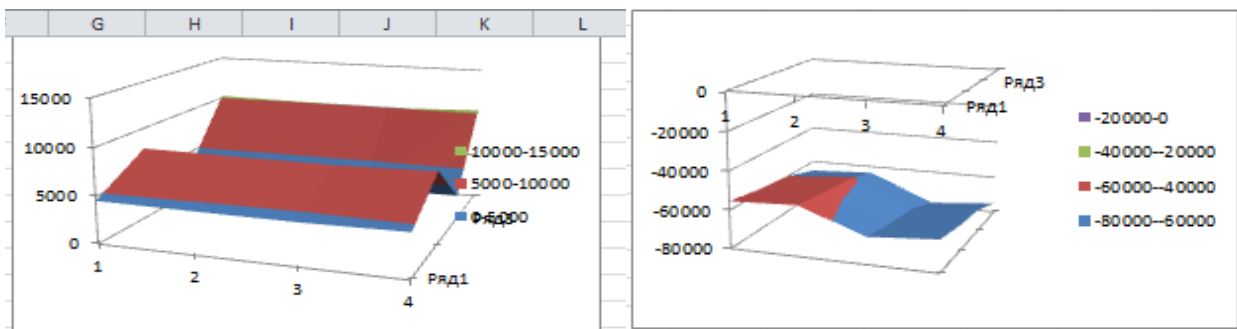


Рис. 4.12 Графики зависимости выходных параметров Y_i при одном постоянном входном параметре X_{i_n} и меняющихся остальных входных параметрах X_i .

4.1.3. 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°C);

X_3 - гранулометрический состав семян подсолнечника (ГС) (20-90 мк);

X_4 - относительная влажность воздуха (φ) (20-90%);

X_5 - расход воздуха при сепарировании (P) (1200-1500 м³/т);

X_6 - частота колебаний сита при сепарировании (π) (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 4.13 представлена разработанная структурно-параметрическая модель подготовки сырья к производству подсолнечной халвы [29, 37].

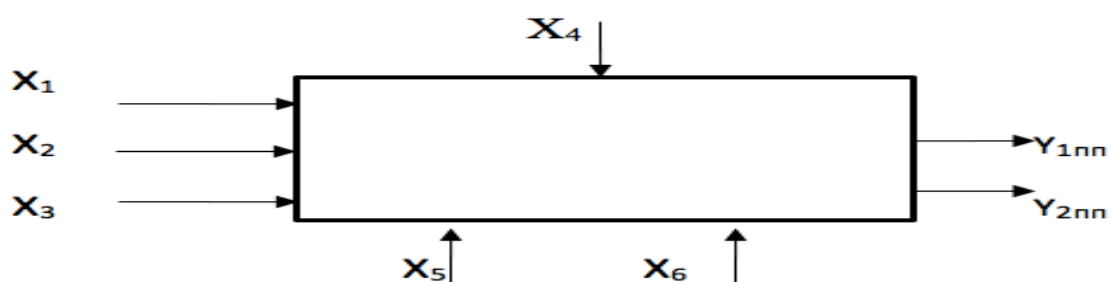


Рисунок 4.13. Структурно - параметрическая модель подготовки сырья к производству халвы

На основе полученных результатов была выведена математическая модель процесса сепарирования семян подсолнечника:

$$\left. \begin{aligned} Y_{1\text{ин}} &= -0,72 X_1 + 0,53 X_2 - 0,81 X_3 - 0,54 X_4 + 0,78 X_5 + 0,64 X_6 \\ Y_{2\text{сп.}} &= -0,62 X_1 + 0,54 X_3 + 0,56 X_5 + 0,48 X_6 \end{aligned} \right\} (4.9)$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность ($\delta=1,0384$), коэффициент множественной корреляции ($R=0,9641857$), критерий Стьюдента ($t_r=274,367 \gg 2$), критерий Фишера (полученное расчетное значение критерия Фишера было больше теоретического критерия Фишера в ≈ 10 раз, т.е. $F_p \gg F_T$).

Поэтому был сделан вывод об адекватности вышеприведённой математической модели, что позволило определить существенное влияние входных параметров на величину коэффициента извлечения примеси в семенах подсолнечника η 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 4.14. Подробные расчеты и все полученные данные приведены в нашей статье [23].

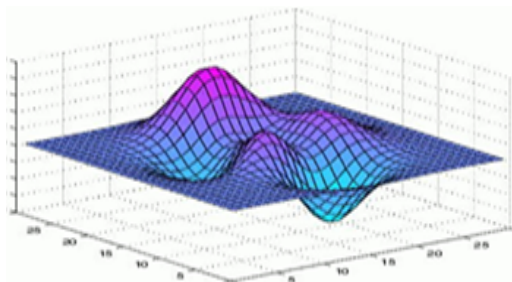


Рис. 4.14. Пример полученных графиков зависимостей выходного параметра от разных входных параметров

Аналогично по описанной выше методике составлены СПММ параметрических связей остальных выделенных участков производства халвы. Полученные результаты подробно описаны в наших работах [40, 41].

Разработка СПММ ТП приготовления сахарного сиропа

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 рН, 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, 90—95°C;

X_{16} - давление греющего пара в колонке, Р 0,34—0,4 Мпа;

Y_{3cc} (X_{17}) - цвет сахарного сиропа, Ц;

Y_{4cc} (X_{18}) - вкус готового сахарного сиропа (величина кристаллов сахара в сахарном сиропе), В;

Y_{5cc} (X_{19}) - влажность, W от 78 до 80 %.

В результате анализа полученных данных на рисунке 4.15 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.).

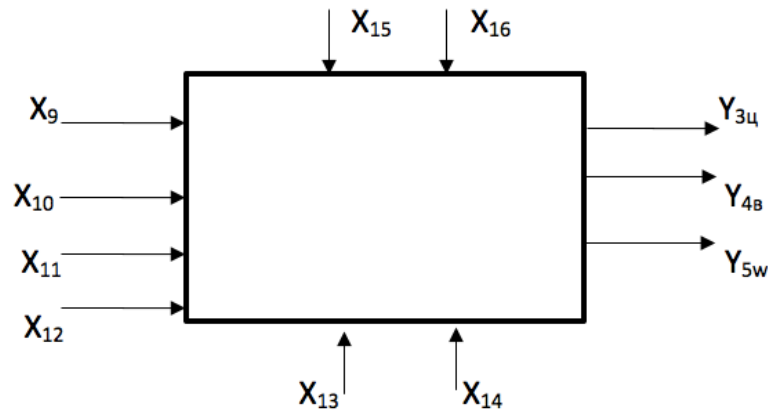


Рис. 4.15. СПМ приготовления сахарного сиропа

На основании проведенных расчетов получена математическая модель процесса приготовления сахарного сиропа:

$$Y_{3ц} = 0,2 X_{13} + 0,36 X_{14} \quad (4.10)$$

$$Y_{4в} = 0,09 X_{13} - 0,46 X_{15} - 0,53 X_{16}$$

$$Y_{5w} = 0,61 X_{12} + 0,75 X_{15}$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по относительной погрешности ($\delta=1,0384$), коэффициенту множественной корреляции ($R = 0,9641857$), критерию Стьюдента ($t_r=274,367 \gg 2$), критерию Фишера ($F_p \gg F_T$). С учётом вышеизложенного был сделан вывод об адекватности вышеприведённой математической модели.

Полученные результаты зависимости между выходным параметром $Y_{4вс}$ и входными переменными представлены в виде графиков для их анализа (рис.4.16)

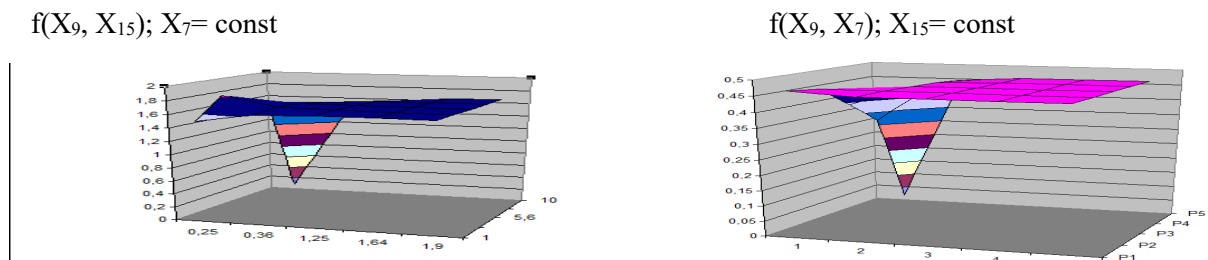


Рис. 4.16. Пример полученных графиков зависимости выходного параметра при меняющихся X_9 , X_7 , X_{15} и постоянном либо X_7 , либо X_{15}

Разработка СПММ ТП приготовления карамельного сиропа

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°C;

X_{22} - массовая доля сухих веществ (контролируется рефрактометром), C от 74 до 80%;

X_{23} - вязкость сахарного сиропа, μ от 13 до 20 Пас;

X_{24} - давление греющего пара в рубашке варочной станции, P_1 от 392 до 499 кПа;

X_{25} - давление внутри варочной станции, P_2 от 98 до 105 кПа;

X_{26} - время уваривания, τ 30—40 мин.;

Y_6 (X_{27}) - цвет карамельного сиропа, C ;

Y_7 (X_{28}) - вкус готового карамельного сиропа (величина кристаллов сахара в карамельном сиропе), B от 40 до 80 мкм.

В результате анализа полученных данных на рисунке 4.17 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 [28, 33, 38].

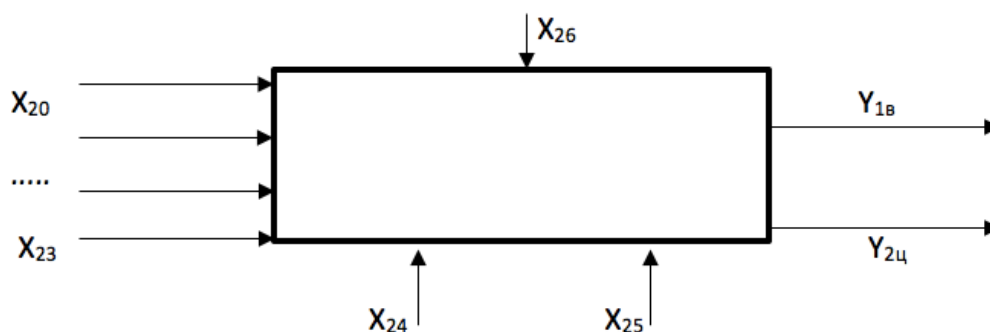


Рис. 4.17. СПМ процесса приготовления карамельного сиропа

На основании проведенных исследований этого процесса и расчетов полученных экспериментальных данных получены математические модели показателей качества карамельного сиропа:

$$Y_{6в} = 0,36 X_{22} + 0,57 X_{23} + 0,51 X_{26} \quad (4.11)$$

$$Y_{7ц} = 0,75 X_{25} + 0,39 X_{26}$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность ($\delta=1,0384$), коэффициент множественной корреляции ($R=0,9641857$), критерий Стьюдента ($t_t=274,367 \gg 2$), критерий Фишера (значение критерия Фишера расчетное больше критерия Фишера теоретического в ≈ 10 раз, т.е. $F_p \gg F_T$). 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 $f(X_{20}, X_{23}); X_{25} = \text{const}$ представлен на рисунке 4.18.

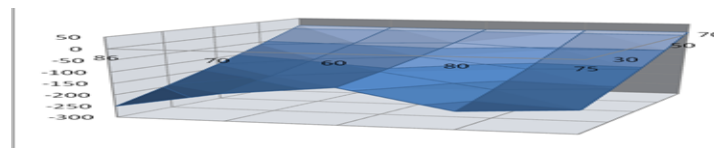


Рис. 4.18. График зависимости выходного параметра $Y_{6впс}$ при меняющихся X_{20} , X_{23} и постоянном либо X_{25}

Разработка СПММ ТП сбивания карамельных масс

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/м³);

X_{33} - давление пара перед началом сбивания, P (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°C до 100°C ;
 X_{36} - температура воды в сбивальной машине, $T_{х.в}$ от 8°C до 12°C ;
 X_{37} - частота вращения сбивальных лопастей, n (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°C ;
 Y_{10} (X_{40}) - вязкость полученного карамельного сиропа, μ от 12 до 16 Пас;
 Y_{11} (X_{41}) - цвет карамельного сиропа после сбивания ζ ;
 Y_{12} (X_{42}) - величина кристаллов сахара в карамельном сиропе, (от 30 до 70 мкм).

В результате анализа полученных данных на рисунке 4.19 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].

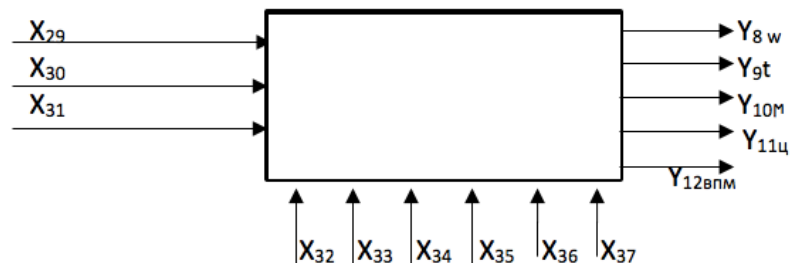


Рис. 4.19. Структурно- параметрическая модель процесса сбивания карамельных масс

Полученные математические модели показателей качества процесса сбивания карамельной массы имеют следующий вид:

$$Y_{8w} (X_{38}) = 0,33 X_{29} + 0,83 X_{33} \quad (4.12)$$

$$Y_{9t} (X_{39}) = 0,29 X_{33} + 0,78 X_{35} + 0,52 X_{36}$$

$$Y_{10m} (X_{40}) = 0,43 X_{30} + 0,51 X_{34} + 0,69 X_{36}$$

$$Y_{11z} (X_{41}) = 0,84 X_{31} + 0,42 X_{37}$$

$$Y_{12в} (X_{42}) = 0,41 X_{32} + 0,36 X_{34}$$

Часть полученных результатов зависимости между выходными параметрами и переменными входными параметрами представлена в виде наглядных графиков для их анализа на рисунке 4.20.

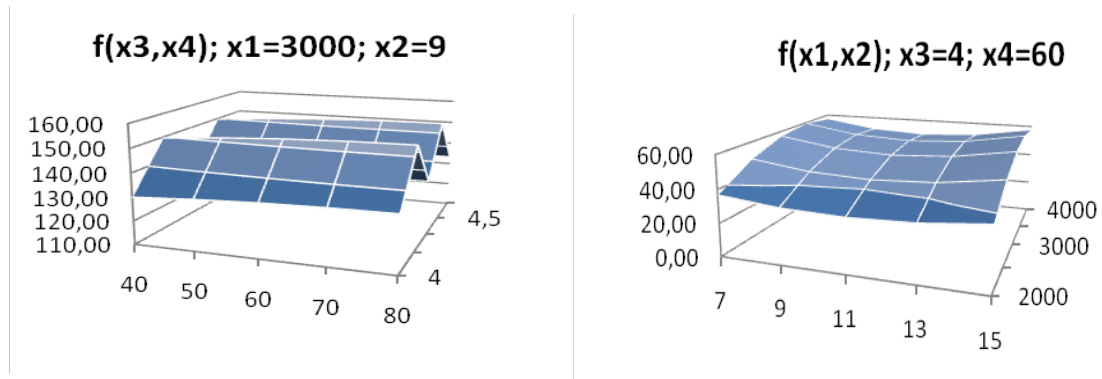


Рис. 4.20. Графики зависимости выходного параметра $Y_{12в}$ при двух меняющихся входных параметрах X_i и одном постоянном параметре $X_{iп}$.

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 сухих веществ 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 4.21 представлена разработанная структурно-параметрическая модель (СПММ) ТП вымешивания массы халвы [25].

Параметрическое моделирование процесса вымешивания массы халвы сводилось к построению матриц взаимосвязей (п.4.й.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 [28, 31].

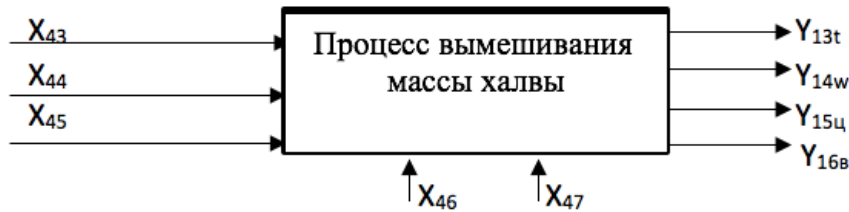


Рис. 4.21. Параметрическая модель процесса вымешивания массы халвы

На основании проведенных расчетов получены математические модели показателей качества процесса приготовления массы халвы:

$$\begin{aligned}
 Y_{13t} (X_{48}) &= 0,61 X_{44} + 0,12 X_{46} \\
 Y_{14w} (X_{49}) &= 0,69 X_{43} + 0,42 X_{47} \\
 Y_{15ц} (X_{50}) &= 0,58 X_{43} + 0,23 X_{47} \\
 Y_{16в} (X_{51}) &= 0,19 X_{45} + 0,31 X_{46}
 \end{aligned}
 \tag{4.13}$$

Часть полученных при этом наглядных графиков представлены на рисунке 4.22.

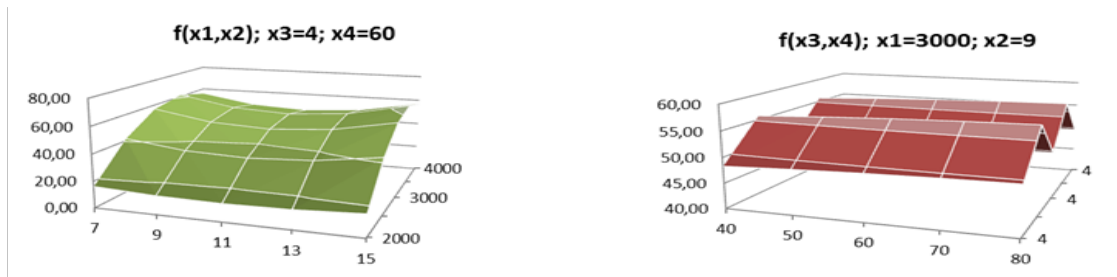


Рис. 4.22. Графики зависимости $Y_{16вкм} (X_{51})$ при двух меняющихся входных параметрах X_i и постоянном одном входном параметре
Разработка СПММ ТП формования корпусов конфет халвы

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, V_m (от 9 до 15 мм/с);
 X_{53} - реологические свойства халвы, μ (от 4×10^{-2} Пас до 32×10^{-2} Пас);
 X_{54} - температура массы халвы, поступающей на формование, T (от 32 °С до 42 °С);
 X_{55} - скорость транспортной ленты при проведении эксперимента была постоянной, $V_{тл}$ - 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 (изменение размеров кристаллов сахара в массе) халвы, S от 30 до 70 мкм;
 Y_{19} (X_{58}) - цвет полученной халвы, Ц.

В результате анализа полученных данных на рисунке 4.23 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].



Рис. 4.23. СП модель процесса формования халвы

На основании проведенных расчетов получены математические модели процесса формования халвы:

$$\begin{aligned} Y_{17h}(X_{56}) &= 0,29 X_{55} \\ Y_{18в}(X_{57}) &= 0,45 X_{54} \\ Y_{19ц}(X_{58}) &= 0,28 X_{53} \end{aligned} \quad (4.14)$$

Проведенные исследования позволили определить влияние входных параметров на вкус (величину кристаллов сахара) и цвет полученной массы халвы после формования. Часть полученных при этом наглядных графиков для их анализа представлены на рисунке 4.24.

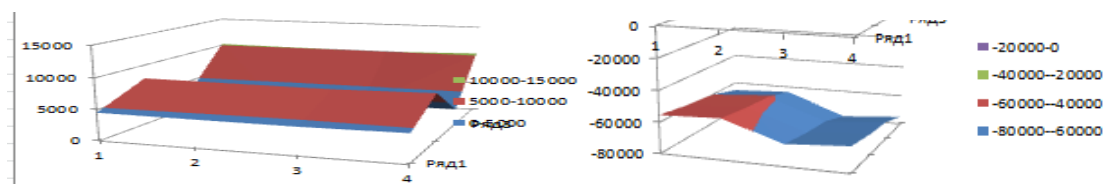


Рис. 4.24. Графики зависимости выходного параметра Y_{18} *вфм* при одном постоянном входном параметре X_{i_n} и меняющемся входном параметре X_i .

Аналогично по описанной выше методике составлены СПММ параметрических связей остальных выделенных участков производства халвы. Полученные результаты подробно описаны в нашей работе [25].

4.1.4. 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].

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, являющиеся одновременно и национальными стандартами РФ, регламентирующие требования к качеству (ГОСТ 326152014), отбору проб (ГОСТ ISO 22922014) и методам контроля качества какао-бобов (ГОСТ ISO 1114-2014, ГОСТ 32616-2014). Хранятся какао бобы 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 - рН (4,4- 5,7);

X_5 - титруемая кислотность (ТК) (12,3-15,8⁰);

X_6 - индекс качества (ИК) (84 – 100%). В показатель индекс качества входит: количество какао бобов на 100 г, % плесневых, ломаных, поврежденных вредителями какао бобов, % боя и посторонних примесей, % какаоветлы. Если от 94 – 100 – это бобы высшего качества, 90 – 93 – это бобы хорошего качества, 84 – 90 – среднего качества, менее 84 – это бобы плохого качества.

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 (ϕ_v), 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 4.25 представлена разработанная СПМ ТП хранения какао бобов.



Рис. 4.25. Структурно-параметрическая модель ТП хранения какао бобов

Параметрическое моделирование процесса хранения 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 стадии хранения какао бобов подробно описаны в наших статьях [35].

ММ ТП хранения какао бобов:

$$Y_{1кб}(X_{11}) = 0,38X_7 + 0,54X_8 + 0,29X_9 + 0,42X_{10} \quad (4.15)$$

$$Y_{2кб}(X_{12}) = 0,17X_7 + 0,28X_8 + 0,14X_9 + 0,22X_{10}$$

$$Y_{5кб}(X_{15}) = 0,28X_7 + 0,41X_8 + 0,19X_9 + 0,24X_{10}$$

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 (P) (1200-1500 м³/т);

X_{19} - частота колебаний сита при сепарировании какао бобов (Π) (2,5-5 об/мин);

$Y_{4кб}(X_{20})$ - выходной параметр - коэффициент извлечения примеси в какао бобах, характеризующий качество основного сырья, η (0,84 – 1,0%);

$Y_{5кб}(X_{21})$ - выходной параметр - внешний вид какао бобов (размер, цвет, состояние поверхности, целостность), (Вн.В).

В результате анализа полученных данных на рисунке 4.26 представлена разработанная структурно-параметрическая модель ТП очистки и сортировки какао бобов.



Рис. 4.26. СПМ ТП очистки и сортировки какао бобов

Разработанные по описанной выше методике СПМ корреляционных, регрессионных и безразмерных оценок параметрических связей основных

участков процессов очистки и сортировки какао бобов подробно описаны в наших статьях [35].

На основании полученных результатов была выведена математическая модель процесса сепарирования семян подсолнечника (формулы 4.16:

$$Y_{4кб} = - 0,69X_{14} + 0,56X_{15} - 0,82X_{16} - 0,57X_{17} + 0,74X_{18} + 0,63X_{19} \quad (4.16)$$

$$Y_{5кб} = - 0,62 X_{14} + 0,54 X_{15} + 0,56 X_{17} + 0,48 X_{19}$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность ($\delta=1,0384$), коэффициент множественной корреляции ($R=0,9641857$), критерий Стьюдента ($tr=274,367 \gg 2$) 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 этого процесса и качество получаемых обжаренных какао бобов зависят от показателей качества исходного сырья, которые были отмечены выше и качества очистки и сортировки.

На рисунке 4.27 представлена СПМ процесса обжарки какао бобов.



Рис. 4.27. СПМ процесса обжарки какао бобов

Входные параметры:

X_{22} - коэффициент извлечения примеси в какао бобах, характеризующий качество основного сырья, η (0,84 – 1,0%);

X_{23} - внешний вид какао бобов (размер, цвет, состояние поверхности, целостность), (Вн.В).

X_{24} - угол естественного откоса (для определения гранулометрического состава какао бобов), 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, T , °С

X_{28} - относительная влажность воздуха (ϕ_v), 20 - 75%.

Выходные параметры:

$Y_{6кб}$ (X_{29}) – температура какао бобов на выходе из аппарата обжарки, T , °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 нашей статье [35].

На основании полученных результатов была спроектирована математическая модель процесса обжарки какао бобов (уравнения 4.17):

$$Y_{6кб} = 0,19X_{22} - 0,34X_{24} - 0,41X_{25} + 0,85X_{26} + 0,87X_{27} \quad (4.17)$$

$$Y_{7кб} = 0,58 X_{22} + 0,74 X_{23} + 0,69 X_{26} + 0,84 X_{26}$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность ($\delta=1,1184$), коэффициент множественной корреляции ($R=0,9581$), критерий Стьюдента ($tr=274,367 \gg 2$) 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 СПММ 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 [35].

Анализ полученных данных позволил установить:

Входные параметры:

X_{29} – температура какао бобов на выходе, Т, не выше 125°C;

X_{30} - внешний вид какао бобов (размер, цвет, состояние поверхности, целостность), (Вн.В).

Режимные параметры:

X_{31} – время охлаждения какао бобов (зависит от сорта шоколада), τ , мин.

X_{32} – температура охлаждения какао бобов, Т, 25...30°C;

$Y_{8кб}$ (X_{33}) – температура какао бобов, Т, °C;

$Y_{9кб}$ (X_{34}) - внешний вид какао бобов на выходе из аппарата охлаждения, (Вн.В).

Структурно-параметрическую модель (СПМ) процесса охлаждения какао бобов представлена на рисунке 4.28.



Рис. 4.28. СПМ процесса охлаждения какао бобов

Параметрическое моделирование процесса охлаждения какао бобов сводилось к построению матриц взаимосвязей (п.4.2.1.). Разработанные по описанной выше методике СПМ корреляционных, регрессионных и безразмерных сопоставимых оценок параметрических связей основных участков подробно описаны в нашей статье [35].

На основании полученных результатов была спроектирована математическая модель процесса охлаждения какао бобов (уравнения 4.18):

$$Y_{8кб} = 0,71X_{29} + 0,78X_{31} + 0,88X_{32} \quad (4.18)$$

$$Y_{9кб} = 0,64 X_{29} + 0,92 X_{30} + 0,49 X_{31} + 0,51 X_{32}$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность ($\delta=1,064$), коэффициент множественной корреляции ($R=0,9242$), критерий Стьюдента ($tr=274,367 \gg 2$) 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 СПММ ТП дробления какао бобов с получением какао крупки и какаофеллы

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 какаофеллы. Дробленую смесь делят на ситах на несколько фракций для более полного отделения крупки от какаофеллы. Крупка и какаофелла одинакового размера имеют разную парусность, определяемую скоростью воздуха, при которой частицы витают. Поэтому в аспирационных каналах дробильно-очистительно-сортировочной машины при помощи воздушного потока от крупки отвеивается какаофелла. Выход какао-крупки должен составлять не менее 87% обжаренных какао-бобов.

Ход процесса дробления какао бобов 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 какаофеллы (P) (1200-1500 м³/т);

X_{39} - частота колебаний сита при сепарировании дробленных какао бобов (n) (2,5-5,0 об/мин);

X_{40} - амплитуда колебаний сита при сепарировании дробленных какао бобов (A) (0,4 – 3,2 мм)

Выходные параметры:

$Y_{10\text{кк}}$ (X_{41}) - выход какао-крупки (Q) не менее 87% обжаренных какао-бобов/

На основании полученных данных была спроектирована СПМ процесса дробления какао бобов, представленная на рисунке 4.29.



Рис. 4.29. СПМ процесса дробления какао бобов

Параметрическое моделирование процесса дробления какао бобов сводилось к построению матриц взаимосвязей (п.4.2.1.). Разработанные по описанной выше методике СПМ корреляционных, регрессионных и безразмерных сопоставимых оценок параметрических связей основных участков процессов дробления какао бобов подробно описаны в нашей статье [35].

На основании полученных результатов была спроектирована математическая модель процесса дробления какао бобов (уравнения 4.19):

$$Y_{10\text{кк}} = 0,39X_{35} - 0,28X_{36} + 0,43X_{37} + 0,86X_{38} + 0,74X_{39} + 0,74X_{40} \quad (4.19)$$

$$Y_{11\text{кк}} = 0,53X_{35} + 0,42X_{36} + 0,21X_{37} + 0,64X_{38} + 0,59X_{39} + 0,48X_{40}$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность ($\delta=1,0384$), коэффициент множественной корреляции ($R=0,95218$), критерий Стьюдента ($tr=274,367 \gg 2$) 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 дробления какао бобов.

Разработка СПММ ТП размола какао крупки с получением какао тертого

Полученная после дробления какао-крупка затем подвергается размолу, для чего эта масса последовательно измельчается на трех мельницах: ударно-

штифтовой, дисковой и шариковой (1 глава, 1.1.1). В ударно-штифтовой мельнице какао-крупка подвергается предварительному измельчению, затем поступает на истирание между дисками второй мельницы. В ней получается грубодисперсное какао тертое, которое насосом нагнетается в шариковую мельницу для тонкого измельчения и получения какао тертого.

Эффективность процесса размола определяется вязкостью ($\mu_{кт1}$), дисперсностью какао тертого (D_1) и зависит от показателей качества какао крупки (G_3, W_2, J_3), а также от режимных параметров процесса.

Входные параметры:

X_{43} - угол естественного откоса, G_3 , град. (35 – 50);

X_{44} - массовая доля жира, $J_{к.к.}$, (45-55 %);

X_{45} – влажность какао крупки, $W_{к.к.}$, (14,5 - 18%);

X_{46} – температура какао крупки, T , °C (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 4.30 дана СПМ процесса размола какао крупки.



Рис. 4.30. СПМ процесса размола какао крупки

Параметрическое моделирование процесса размола какао крупки сводилось к построению матриц взаимосвязей (п.4.1.1.). Разработанные по описанной выше методике СПМ корреляционных, регрессионных и

безразмерных оценок параметрических связей основных участков процессов очистки и сортировки какао бобов подробно описаны в нашей статье [35].

На основании полученных результатов была получена математическая модель процесса размола какао крупки (уравнения 4.20):

$$Y_{12\text{кт}} = 0,26X_{43} + 0,37X_{44} + 0,44X_{45} + 0,45X_{46} + 0,68X_{47} + 0,69X_{48} + 0,84 X_{49} \quad (4.20)$$

$$Y_{13\text{кт}} = 0,45X_{43} + 0,53X_{44} + 0,48X_{45} + 0,57X_{46} + 0,72X_{47} + 0,61X_{48} + 0,78 X_{49}$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность ($\delta=1,0464$), коэффициент множественной корреляции ($R=0,9461$), критерий Стьюдента ($tr=273,57 \gg 2$) и критерий Фишера (полученное расчетное значение критерия Фишера было больше теоретического). Поэтому был сделан вывод об адекватности вышеприведённых уравнений, что позволило определить существенное влияние входных и режимных параметров на процесс размола какао крупки с получением какао тертого.

Разработка СПММ ТП прессования

Анализ полученных данных позволил определить параметры процесса прессования.

Входные параметры:

X_{59} - вязкость какао тертого, $\mu_{\text{кт}}$, Па·с;

X_{51} - дисперсность какао тертого $D_{\text{кт}}$

X_{52} - массовая доля жира, $J_{\text{кб}}$, %;

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, P , Мпа (35 – 45 МПа);

Выходные параметры:

$Y_{14\text{км}} (X_{57})$ – количество отжатого какао масла Q , кг.

На рисунке 4.31 представлена структурно-параметрическую модель процесса прессования какао тертого.



Рис. 4.31. Структурно-параметрическую модель процесса прессования

Параметрическое моделирование процесса прессования какао тертого сводилось к построению матриц взаимосвязей (п.4.2.1.). Разработанные по описанной выше методике СПМ корреляционных, регрессионных и безразмерных оценок параметрических связей процесса прессования какао тертого подробно описаны в нашей статье [35].

На основании полученных результатов была спроектирована математическая модель процесса прессования какао тертого (уравнение 4.21):

$$Y_{14км} = 0,69X_{50} + 0,63X_{51} + 0,85X_{52} + 0,57X_{53} + 0,54X_{54} + 0,72X_{55} + 0,54X_{56}. \quad (4.21)$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность ($\delta=1,0442$), коэффициент множественной корреляции ($R=0,9372$), критерий Стьюдента ($tr=263,367 \gg 2$) 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 прессования какао тертого.

Разработка СПММ ТП смешивания какао тертого с какао маслом и сахарной пудрой

Приготовление шоколадной массы начинается с формирования рецептурной смеси в соответствии с утвержденной рецептурой. Из темперированных 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 их показателей качества компонентов, от их температуры, а также от режимных параметров процесса смешивания. Анализ полученных данных позволил установить:

Входные параметры:

X_{58} - вязкость какао тертого, $\mu_{\text{кт}}$, Па·с;

X_{59} - вязкость какао масла, $\mu_{\text{км}}$, Па·с;

X_{60} - дисперсность сахарной пудры, $D_{\text{сп}}$, мкм (не более 80 мкм);

X_{61} - влажность сахарной пудры, $W_{\text{сп}}$, %;

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, n , об/мин;

Выходные параметры:

$Y_{15\text{см.}}(X_{67})$ – вязкость полученной смеси, $\mu_{\text{см}}$, Па с

$Y_{16\text{см.}}(X_{68})$ – массовая доля жира, J , % (24 – 30%);

$Y_{17\text{см.}}(X_{69})$ – дисперсность полученной смеси, $D_{\text{см}}$, мкм (не более 35 – 20 мкм).

На рисунке 4.32 представлена СПМ процесса смешивания какао тертого с какао маслом и сахарной пудрой.



Рис. 4.32. 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 (уравнения 4.22):

$$Y_{15\text{см}} = 0,89X_{58} + 0,91X_{59} + 0,56X_{60} + 0,48X_{61} + 0,62X_{62} + 0,61X_{63} + 0,64X_{64}$$

$$-0,67X_{65} + 0,73X_{66} \quad (4.22)$$

$$Y_{16\text{см}} = 0,72X_{58} + 0,75X_{59} + 0,46X_{61} - 0,62X_{62} + 0,61X_{63} - 0,72X_{64} - 0,67X_{65} - 0,63X_{66}$$

$$Y_{17\text{см}} = 0,67X_{58} + 0,59X_{59} + 0,95X_{60} + 0,43X_{61} + 0,36X_{62} + 0,31X_{63} + 0,26X_{64} + 0,27X_{65} + 0,73X_{66}$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность ($\delta=1,0742$), коэффициент множественной корреляции ($R=0,92385$), критерий Стьюдента ($tr=253,367 \gg 2$) и критерий Фишера (полученное расчетное значение критерия Фишера было больше теоретического значения). Поэтому был сделан вывод об адекватности вышеприведённых уравнений, что позволило определить существенное влияние входных и режимных параметров на ТП смешивания.

Разработка СПММ 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 устанавливаются в зависимости от типа применяемого оборудования и вида обрабатываемой массы. Например, в ротационной коншмашине масса для обычного молочного шоколада обрабатывается в течение 8 ч при температуре 45...55°C, а для получения десертного шоколада без добавлений требуется 24 ч перемешивания при температуре 55...75°C.

Для поддержания необходимой вязкости приготавливаемой шоколадной массы требуется периодически добавлять 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 обуславливают существенное улучшение качества шоколада, повышая его вкусовые и ароматические достоинства.

Анализ полученных данных позволил установить:

Входные параметры:

X_{67} – вязкость провальцованной шоколадной массы, $\mu_{\text{км}}$, Па·с;

X_{68} – массовая доля жира провальцованной шоколадной массы, Ж, %;

X_{69} – дисперсность провальцованной шоколадной массы, $D_{\text{пшм}}$, мкм;

X_{70} – влажность провальцованной шоколадной массы, $W_{\text{пшм}}$, %;

X_{71} – вязкость какао масла, $\mu_{\text{км}}$, Па·с; ;

X_{72} – температура какао масла на входе в коншмашину, Т, °С;

Режимные параметры:

X_{73} – время разводки, гомогенизации и конширования, τ , мин.;

X_{74} – температура в процессе разводки, гомогенизации и конширования, Т, °С;

X_{75} – число оборотов лопастей мешалки, п, об/мин;

Выходные параметры:

$Y_{18\text{пшм}}(X_{76})$ – вязкость полученной шоколадной массы, $\mu_{\text{см}}$, Па·с;

$Y_{19\text{пшм}}(X_{77})$ – вкус полученной шоколадной массы, В;

$Y_{20\text{пшм}}(X_{78})$ – аромат полученной шоколадной массы, З.

На основании полученных данных была спроектирована СПМ ТП разводки, гомогенизации и конширования, представленная на рисунке 4.33.



Рис. 4.33. СПМ ТП разводки, гомогенизации и конширования

Параметрическое моделирование ТП разводки, гомогенизации и конширования сводилось к построению матриц взаимосвязей (п.4.1.1). Разработанные по этой методике СПМ корреляционных, регрессионных и безразмерных оценок 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 (уравнения 4.23):

$$Y_{1\text{см}} = 0,92X_{67} + 0,79X_{68} + 0,54X_{69} - 0,45X_{70} + 0,84X_{71} + 0,67X_{72} + 0,71X_{73} - 0,73X_{74} + 0,69X_{75} \quad (4.23)$$

$$Y_{2\text{см}} = 0,53X_{67} + 0,61X_{68} - 0,65X_{69} - 0,44X_{70} + 0,63X_{71} + 0,31X_{72} - 0,68X_{73} - 0,65X_{74} - 0,62X_{75}$$

$$Y_{3\text{см}} = 0,56X_{67} + 0,58X_{68} + 0,63X_{69} - 0,43X_{70} + 0,54X_{71} + 0,49X_{72} + 0,52X_{73} + 0,59X_{74} + 0,61X_{75}$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность ($\delta=1,0137$), коэффициент множественной корреляции ($R=0,92523$), критерий Стьюдента ($tr=241,154 \gg 2$) и критерий Фишера (полученное расчетное значение критерия Фишера было больше теоретического). Поэтому был сделан вывод об адекватности вышеприведённых уравнений, что позволило определить существенное влияние входных и режимных параметров на ТП разводки, гомогенизации и конширования.

Разработка СПММ ТП темперирования

Полученную шоколадную массу быстро охлаждают от 45...50°C до 33°C, а затем медленно снижают температуру до 30...32,5°C (при выработке шоколада без добавлений) и выдерживают массу в этом температурном интервале, не прекращая интенсивного перемешивания. Далее оттемперированная шоколадная масса подается в агрегат для формования шоколада (1 глава, п.1.2.1).

Анализ полученных данных позволил установить влияние на процесс темперирования шоколадной массы:

входных параметров:

X_{76} – вязкость приготовленной в процессе разводки, гомогенизации и конширования шоколадной массы, $\mu_{\text{шм}}$, Па·с;

Режимные параметры:

X_{79} – время темперирования, τ , мин.;

X_{80} – температура в процессе темперирования, T , °С;

X_{81} – число оборотов лопастей мешалки, n , об/мин;

Выходные параметры:

$Y_{21\text{шм}}$ (X_{82}) – конечная вязкость полученной шоколадной массы при температуре 32 °С, $\mu_{\text{см}}$, Па·с.

Таким образом, основным критерием состояния шоколадной массы после темперирования, характеризующим готовность проведения последующих операций (формирование изделий, глазирование корпусов конфет), является конечная величина вязкости, которая имеет оптимальное значение для каждого сорта приготавливаемой шоколадной массы при температуре 32 °С.

На основании рисунка 4.34 представлена СПМ процесса темперирования шоколадной массы.



Рис. 4.42. СПМ процесса темперирования

На основании полученных результатов была спроектирована математическая модель процесса темперирования шоколадной массы (уравнение 4.24):

$$Y_{21\text{шм}} = 0,97X_{76} + 0,65X_{79} - 0,68X_{80} + 0,59X_{81} \quad (4.24)$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность ($\delta=1,0592$), коэффициент множественной корреляции ($R=0,9754$), критерий Стьюдента ($tr=251,274 \gg 2$) и критерий Фишера (полученное расчетное значение критерия Фишера было больше теоретического). Поэтому был сделан вывод об адекватности вышеприведённого уравнения, что позволило определить существенное влияние входного и режимных параметров.

Разработка СПММ 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 $T=32\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\mu\text{см}$, $\text{Па}\cdot\text{с}$.

Режимные параметры:

X_{83} – температура форм для плиток шоколада, T , $^{\circ}\text{C}$ (30 - 32 $^{\circ}\text{C}$);

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 , $^{\circ}\text{C}$ (6 - 10 $^{\circ}\text{C}$);

Выходные параметры:

$Y_{22\text{ш}}$ (X_{87}) – вкус, В

$Y_{23\text{ш}}$ (X_{88}) – запах, З

$Y_{24\text{ш}}$ (X_{89}) – внешний вид, ВнВ

$Y_{25\text{ш}}$ (X_{90}) – форма, Ф

$Y_{26\text{ш}}$ (X_{91}) – консистенция, К

На основании полученных данных была спроектирована структурно-параметрическую модель (СПМ) процесса формования плиток шоколада, представленная на рисунке 4.35.



Рис. 4.35. СПМ процесса формирования плиток шоколада

Параметрическое моделирование процесса формирования плиток шоколада сводилось к построению матриц взаимосвязей (п.4.2.1.). Разработанные по описанной выше методике СПМ корреляционных, регрессионных и безразмерных оценок параметрических связей процесса формирования плиток шоколада подробно описаны в нашей статье [35]. На основании полученных результатов была спроектирована математическая модель процесса формирования плиток шоколада (уравнения 4.25):

$$Y_{1шт} = 0,92X_{82} - 0,24X_{84} + 0,39X_{85} + 0,62X_{86} \quad (4.25)$$

$$Y_{2шт} = 0,91X_{82} + 0,22X_{84} + 0,68X_{85} - 0,72X_{86}$$

$$Y_{3шт} = 0,87X_{82} + 0,42X_{83} + 0,39X_{84} + 0,78X_{85} + 0,74X_{86}$$

$$Y_{4шт} = 0,79X_{82} + 0,51X_{83} + 0,48X_{84} - 0,81X_{85} + 0,84X_{86}$$

$$Y_{5шт} = 0,95X_{82} - 0,33X_{84} - 0,84X_{85} + 0,87X_{86}$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность ($\delta=1,0592$), коэффициент множественной корреляции ($R=0,9754$), критерий Стьюдента ($tr=251,274 \gg 2$) и критерий Фишера (полученное расчетное значение критерия Фишера было больше теоретического значения). Поэтому был сделан вывод об адекватности вышеприведённых уравнений, что позволило определить существенное влияние входного и режимных параметров.

4.1.5. 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 СПММ ТП приготовления сырья

Проведенные исследования и их анализ позволили выявить основные параметры, влияющие на процесс. Также были определены наиболее значимые выходные параметры, характеризующие качество полученного в процессе приготовления сахарного- паточного сиропа.

Основные входные параметры процесса:

X_1 - угол естественного откоса (для определения гранулометрического состава сахара – песка), град. 40 – 50;

X_2 - активная кислотность рН , 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 - 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 4.36 представлена разработанная структурно-параметрическая модель процесса подготовки сырья к производству сбивных конфет.

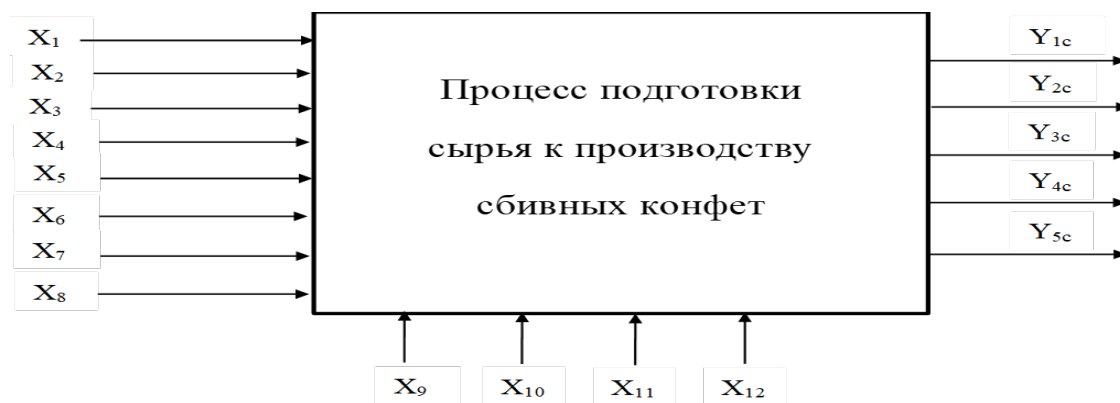


Рис. 4.36. СПМ процесса подготовки сырья к производству сбивных конфет

Параметрическое моделирование процесса подготовки сырья к производству сбивных конфет сводилось к построению матриц взаимосвязей (п.4.2.1.).

Получены ММ ТП подготовки сырья к производству сбивных конфет:

$$Y_{1c}(X_{13}) = 0,25X_2 + 0,48X_3 + 0,37X_4 + 0,76X_5 + 0,82X_8 + 0,47X_9 + 0,55X_{10} + 0,42X_{11} + 0,36X_{12} \quad (4.26)$$

$$Y_{2c}(X_{14}) = 0,49X_2 + 0,52X_3 + 0,47X_4 + 0,91X_6 + 0,51X_9 + 0,52X_{10} + 0,33X_{11} + 0,28X_{12}$$

$$Y_{3c}(X_{15}) = 0,45X_2 + 0,38X_3 + 0,31X_4 + 0,94X_7 + 0,51X_9 + 0,48X_{10} + 0,56X_{11} + 0,22X_{12}$$

$$Y_{4c}(X_{16}) = 0,68X_1 + 0,34X_2 + 0,73X_3 + 0,72X_4 + 0,22X_8 + 0,36X_9 + 0,38X_{10} + 0,46X_{11} + 0,52X_{12}$$

$$Y_{5c}(X_{17}) = 0,21X_2 + 0,29X_3 + 0,46X_9 + 0,57X_{10} + 0,38X_{11} + 0,74X_{12}$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность, коэффициент множественной корреляции, критерий Стьюдента и критерий Фишера (полученное расчетное значение критерия Фишера было больше теоретического критерия Фишера). Поэтому был сделан вывод об адекватности вышеприведённой математической модели (уравнения 4.26), что позволило определить существенное влияние входных и режимных параметров на ТП подготовки сырья к производству сбивных конфет.

Разработка СПММ 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 полученного в процессе приготовления 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 (асп.с.), подаваемого на сбивание $T_{п.с.}$ от 105 до 109 °С;

X_{17} – вязкость подаваемого на сбивание асп.с., η , 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 P (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 n (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 4.37).

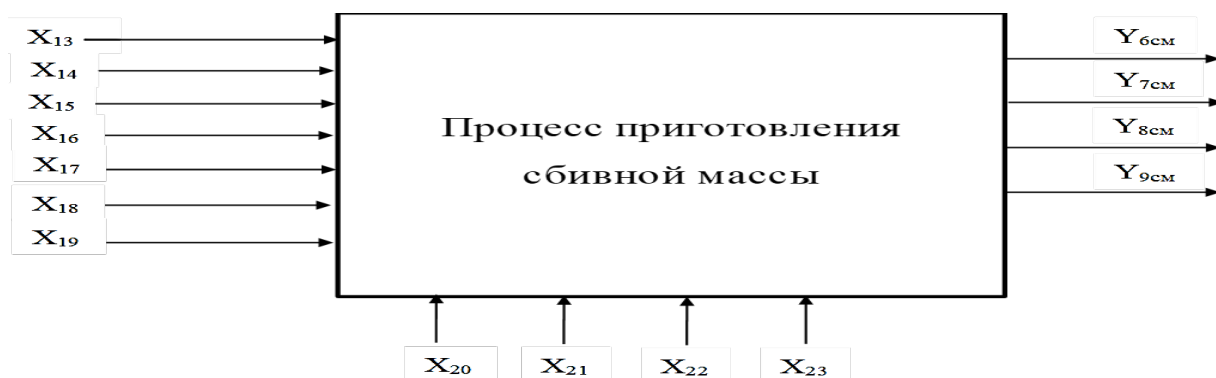


Рис. 4.37. СПМ ТП приготовления сбивной смеси

На основании полученных результатов была спроектирована математическая модель ТП приготовления сбивной конфетной массы (уравнения 4.27):

$$Y_{1\text{см}} = 0,93X_{13} + 0,55X_{16} + 0,68X_{17} + 0,49X_{18} + 0,57X_{20} - 0,63X_{21} + 0,45X_{22} + 0,25X_{23} \quad (4.27)$$

$$Y_{2\text{см}} = 0,92X_{14} + 0,43X_{15} + 0,58X_{16} + 0,75X_{17} + 0,47X_{18} + 0,62X_{20} - 0,67X_{21} - 0,31X_{22} + 0,26X_{23}$$

$$Y_{3\text{см}} = 0,27X_{14} + 0,95X_{15} + 0,41X_{16} + 0,62X_{17} + 0,58X_{18} + 0,42X_{20} + 0,39X_{21} + 0,19X_{22} + 0,44X_{23}$$

$$Y_{1\text{см}} = 0,54X_{16} + 0,61X_{17} + 0,86X_{18} + 0,33X_{19} + 0,42X_{20} + 0,64X_{21} - 0,41X_{22} + 0,47X_{23}$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность ($\delta=1,0742$), коэффициент множественной корреляции ($R=0,92385$), критерий Стьюдента ($tr=253,367 \gg 2$) и критерий Фишера (полученное расчетное значение критерия Фишера было больше теоретического критерия 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 СПММ ТП формования сбивного слоя конфет

Формование сбивного слоя конфет подробно описано в 1 главе настоящей работы, раздел 1.2.3 «Анализ ТП производства сбивных масс».

Анализ полученных данных позволил установить 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 а, З;

X_{27} - массовая доля сухих веществ в сбитой массе, W от 78 до 80 %.

X_{28} - температура, T, °C (от 32 °C до 42 °C);

X_{29} - вязкость сбитой конфетной массы, μ , Па·с (от 4×10^{-2} Па·с; до 32×10^{-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 транспортной ленты, $V_{тл}$, мм/с, (может меняться 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 спроектирована структурно-параметрическую модель (СПМ) процесса формования сбивного слоя конфет, представленная на рисунке 4.38.



Рис. 4.38. СПМ процесса формования сбивного слоя конфет

Спроектирована математическая модель процесса формования сбивного слоя конфет (уравнения 4.28):

$$Y_{1ф} = -0,73X_{27} - 0,64X_{28} + 0,75X_{29} - 0,43X_{30} + 0,38X_{31} \quad (4.28)$$

$$Y_{2ф} = 0,97X_{25} + 0,32X_{26} - 0,65X_{27} + 0,48X_{28} + 0,51X_{29}$$

$$Y_{3ф} = 0,63X_{24} + 0,78X_{27} + 0,62X_{28} + 0,76X_{29} - 0,57X_{30} - 0,45X_{31}$$

$$Y_{4ф} = 0,95X_{24} + 0,46X_{27} + 0,48X_{28} + 0,54X_{29}$$

$$Y_{5ф} = 0,77X_{24} + 0,53X_{25} + 0,38X_{26} - 0,83X_{27} - 0,52X_{28} + 0,83X_{29} + 0,25X_{30} + 0,18X_{31}$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность ($\delta=1,0592$), коэффициент множественной корреляции ($R=0,9754$), критерий Стьюдента ($tr=251,274 \gg 2$) и критерий Фишера (полученное расчетное значение критерия Фишера было больше теоретического критерия Фишера). Поэтому был сделан вывод об адекватности вышеприведённых уравнений, что показало существенное влияние входных и режимных параметров на процесс формирования сбивного слоя конфет.

Разработка СПММ 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 в холодильный тоннель, Т, не выше 32°C ;

Режимные параметры:

X_{38} – время охлаждения и выстойки корпусов сбивных конфет, τ , мин.

X_{39} – температура охлаждения корпусов сбивных конфет, Т, $25 \dots 30^{\circ}\text{C}$;

Выходные параметры:

Y_{150x} (X_{40}) – температура корпусов сбивных конфет на выходе из холодильного тоннеля, Т, $^{\circ}\text{C}$;

Y_{160x} (X_{41}) - внешний вид сбивных конфет на выходе из холодильного тоннеля, (Вн.В).

И на основании полученных данных была спроектирована структурно-параметрическая модель (СПМ) процесса охлаждения и выстойки корпусов сбивных конфет, представленная на рисунке 4.38.

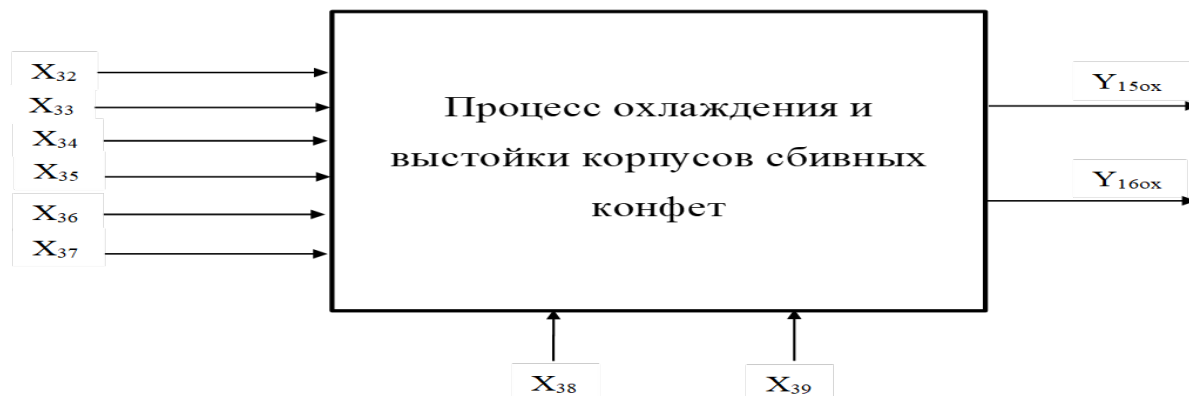


Рис. 4.38. СПМ процесса охлаждения и выстойки корпусов сбивных конфет

Получена математическая модель процесса охлаждения и выстойки корпусов сбивных конфет (уравнения 4.29):

$$Y_{1ox} = 0,26X_{32} + 0,52X_{36} + 0,66X_{37} - 0,84X_{38} + 0,92X_{39} \quad (4.29)$$

$$Y_{2ox} = 0,58X_{32} + 0,96X_{34} + 0,68X_{35} + 0,48X_{36} - 0,51X_{37} + 0,63X_{38} + 0,51X_{39}$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность ($\delta=1,0463$), коэффициент множественной корреляции ($R=0,9382$), критерий Стьюдента ($tr=251,274 \gg 2$) и критерий Фишера (полученное расчетное значение критерия Фишера было больше теоретического критерия Фишера). Поэтому был сделан вывод об адекватности вышеприведённых уравнений, что позволило определить влияние входных и режимных параметров на процесс охлаждения и выстойки корпусов сбивных конфет.

Разработка СПММ 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 холодильного тоннеля, Т, °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 4×10^{-2} Па·с до 32×10^{-2} Па·с);

X_{43} – температура шоколадной глазури, Т, °С (32 - 38°С);

Выходные параметры:

$Y_{17гк}$ (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.

И на основании полученных данных была спроектирована структурно-параметрическая модель (СПМ) процесса глазирования корпусов сбивных конфет, представленная на рисунке 4.39.

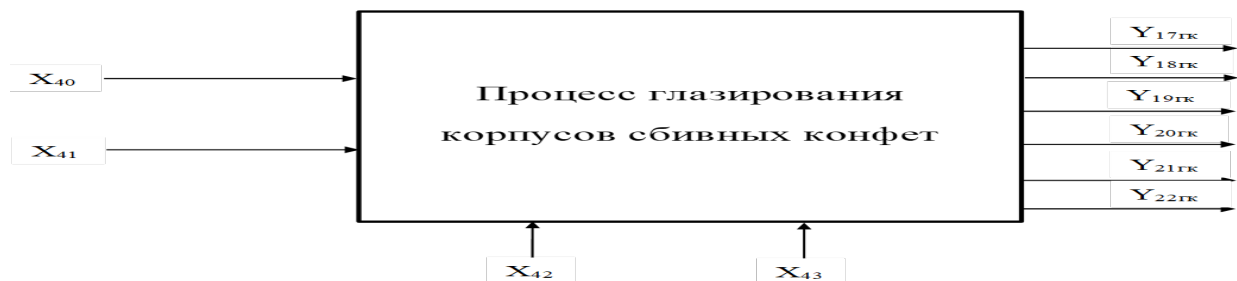


Рис. 4.39. СПМ процесса глазирования корпусов сбивных конфет

Анализ полученных результатов позволил получить математическую модель процесса глазирования корпусов сбивных конфет (уравнения 4.30):

$$Y_{1гк} = 0,67X_{40} + 0,58X_{41} + 0,66X_{42} + 0,76X_{43} \quad (4.30)$$

$$Y_{2гк} = 0,21X_{40} + 0,86X_{41} + 0,24X_{42} + 0,27X_{43}$$

$$Y_{3гк} = 0,26X_{40} + 0,45X_{42} + 0,32X_{43}$$

$$Y_{4гк} = 0,68X_{40} + 0,92X_{41} + 0,77X_{42} + 0,71X_{43}$$

$$Y_{5гк} = 0,63X_{40} + 0,94X_{41} + 0,75X_{42} + 0,62X_{43}$$

$$Y_{\text{бгк}} = 0,65X_{40} + 0,75X_{41} + 0,96X_{42} + 0,72X_{43}$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность ($\delta=1,1327$), коэффициент множественной корреляции ($R=0,9161$), критерий Стьюдента ($tr=230,724 \gg 2$) и критерий Фишера (полученное расчетное значение критерия Фишера было больше теоретического критерия Фишера). Поэтому был сделан вывод об адекватности вышеприведённых уравнений, что позволило определить влияние входных и режимных параметров на процесс глазирования корпусов сбивных конфет.

4.1.6. Структурно – параметрические и математические модели (СПММ) ТП производства мармелада

Структурная схема основных стадий производства мармелада представлена в 1 главе, в разделе 1.2.5. «Анализ ТП производства мармелада».

Исходным сырьем для получения мармелада служит пектино-сахаропаточный сироп (ПСПС).

Разработка СПММ ТП приготовления ПСПС

Проведенные исследования и их анализ позволили выявить основные параметры, влияющие на процесс приготовления пектино-сахаропаточного сиропа. Также были определены наиболее значимые выходные параметры, характеризующие качество полученного в процессе приготовления этого сахаропаточного сиропа.

Основные входные параметры процесса:

X_1 - угол естественного откоса (для определения гранулометрического состава сахара – песка), град. 40 – 50;

X_2 - активная кислотность рН, 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 - 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 4.40 представлена разработанная СПМ процесса приготовления ПСПС.

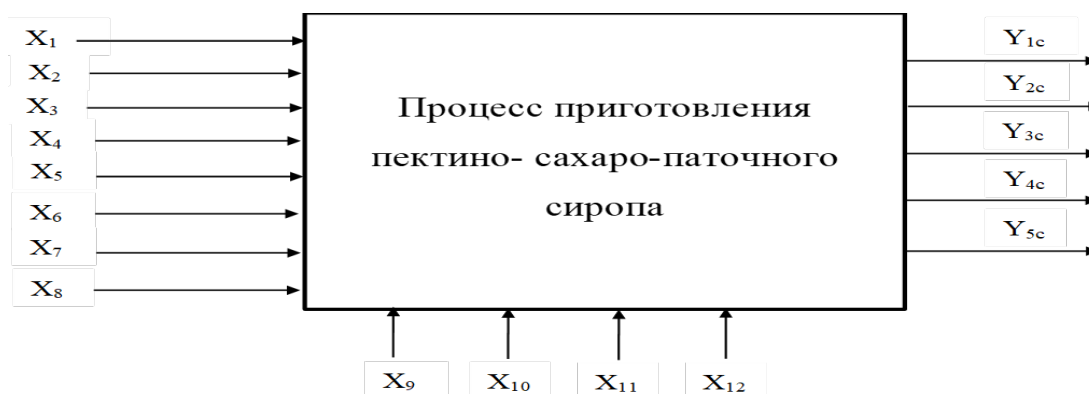


Рис. 4.49. СПМ процесса приготовления ПСПС

Параметрическое моделирование процесса подготовки сырья к производству мармелада сводилось к построению матриц взаимосвязей (п.4.1.1.). Разработанные по описанной выше методике СПМ корреляционных, регрессионных и безразмерных сопоставимых оценок параметрических связей подробно описаны в наших статьях [28, 33]. Получена математическая модель ТП данной стадии (уравнения 4.31):

$$Y_{1c}(X_{13}) = 0,25X_2 + 0,48X_3 + 0,37X_4 + 0,76X_5 + 0,82X_8 + 0,47X_9 + 0,55X_{10} + 0,42X_{11} + 0,36X_{12} \quad (4.31)$$

$$Y_{2c}(X_{14}) = 0,49X_2 + 0,52X_3 + 0,47X_4 + 0,91X_6 + 0,51X_9 + 0,52X_{10} + 0,33X_{11} + 0,28X_{12}$$

$$Y_{3c}(X_{15}) = 0,45X_2 + 0,38X_3 + 0,31X_4 + 0,94X_7 + 0,51X_9 + 0,48X_{10} + 0,56X_{11} + 0,22X_{12}$$

$$Y_{4c}(X_{16}) = 0,68X_1 + 0,34X_2 + 0,73X_3 + 0,72X_4 + 0,22X_8 + 0,36X_9 + 0,38X_{10} + 0,46X_{11} + 0,52X_{12}$$

$$Y_{5c}(X_{17}) = 0,21X_2 + 0,29X_3 + 0,46X_9 + 0,57X_{10} + 0,38X_{11} + 0,74X_{12}$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность, коэффициент множественной корреляции, критерий Стьюдента и критерий Фишера (полученное расчетное значение критерия Фишера было больше теоретического критерия Фишера). Поэтому был сделан вывод об адекватности вышеприведённой математической модели (уравнения 4.120 – 4.124), что позволило определить существенное влияние входных и режимных параметров на ТП подготовки сырья к производству мармелада.

Разработка СПММ ТП приготовления мармеладной массы

Важный этапом производства мармелада является ТП приготовления мармеладной массы.

Анализ полученных данных позволил установить:

Входные параметры:

- X₁₃ - цвет готового агаро-сахарно- паточного сиропа, Ц;
- X₁₄ - вкус готового агаро-сахарно- паточного сиропа, В;
- X₁₅ - запах готового агаро-сахарно- паточного сиропа, З;
- X₁₆ – температура агаро-сахарно- паточного сиропа, T_c. (от 105 до 109 °С);
- X₁₇ – массовая доля влаги сиропа, W (от 15% до 19%);

Режимные параметры:

- X₁₉ – температура процесса перемешивания T_{сб}. от 90°С до 100 °С;
- X₂₂ – частота вращения мешалки n (от 0,35 1/с до 0,65 1/с).
- X₂₃ – давление пара в варочном аппарате P (от 98 кПа до 117 кПа).

Выходные параметры:

- Y_{1мм} (X₂₄) - цвет мармеладной массы, Ц;
- Y_{2мм} (X₂₅) - вкус мармеладной массы, В;
- Y_{3мм} (X₂₆) - запах мармеладной массы а, З;
- Y_{4мм} (X₂₇) - массовая доля сухих веществ в сбитой массе, W (от 78 до 80 %).
- Y_{5 мм} (X₂₈) - вязкость мармеладной массы, η;
- Y_{6 мм} (X₂₉) - рН мармеладной массы на выходе, (3,1 – 3,2);
- Y_{7 мм} (X₃₀) – температура мармеладной массы на выходе, T_{мм} (от 106 - 107 °С);
- Y_{8 мм} (X₃₁) – конечная влажность мармеладной массы, W, (30—32 %).

На рисунке 4.41 представлена СПМ ТП приготовления мармеладной массы.

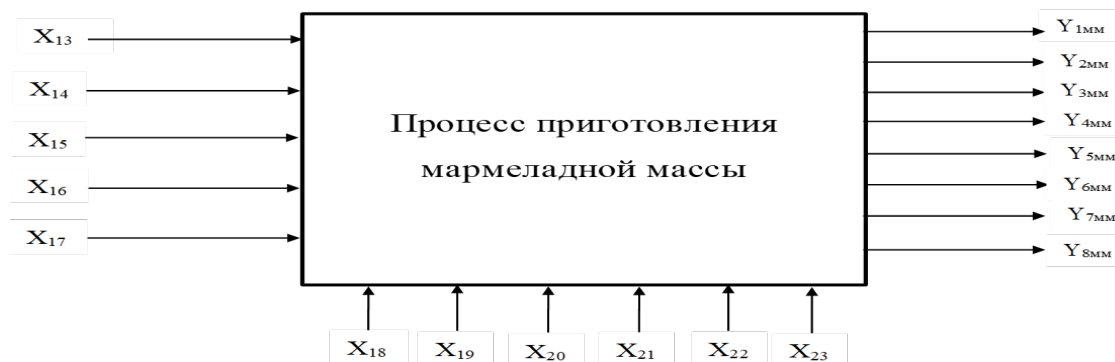


Рис. 4.50. СПМ процесса приготовления мармеладной массы

Спроектирована математическая модель ТП приготовления мармеладной массы (уравнения 4.32):

$$Y_{1MM} = 0,94X_{13} + 0,52X_{16} + 0,49X_{17} + 0,53X_{18} + 0,44X_{19} + 0,61X_{20} + 0,51X_{21} + 0,42X_{22} + 0,58X_{23} \quad (4.32)$$

$$Y_{2CM} = 0,93X_{14} + 0,39X_{15} + 0,57X_{16} + 0,63X_{17} + 0,48X_{18} + 0,46X_{19} + 0,56X_{20} + 0,66X_{21} + 0,32X_{22} + 0,27X_{23}$$

$$Y_{3CM} = 0,26X_{14} + 0,94X_{15} + 0,48X_{16} + 0,51X_{17} + 0,49X_{18} + 0,52X_{19} + 0,54X_{20} + 0,65X_{21} + 0,22X_{22} + 0,43X_{23}$$

$$Y_{4CM} = 0,62X_{16} + 0,81X_{17} - 0,58X_{18} - 0,63X_{19} - 0,84X_{20} - 0,78X_{21} - 0,46X_{22} + 0,47X_{23}$$

$$Y_{5MM} = 0,63X_{16} + 0,68X_{17} + 0,59X_{18} + 0,74X_{19} + 0,76X_{20} + 0,67X_{21} + 0,45X_{22} + 0,41X_{23}$$

$$Y_{6MM} = 0,59X_{14} + 0,25X_{15} + 0,37X_{16} + 0,49X_{17} + 0,34X_{18} + 0,36X_{19} + 0,47X_{20} + 0,41X_{21} + 0,27X_{22} + 0,48X_{23}$$

$$Y_{7MM} = 0,43X_{13} + 0,53X_{14} + 0,51X_{15} + 0,49X_{16} + 0,72X_{17} + 0,54X_{18} + 0,95X_{19} + 0,35X_{20} + 0,91X_{21} + 0,42X_{22} + 0,38X_{23}$$

$$Y_{8MM} = 0,33X_{13} + 0,64X_{16} + 0,82X_{17} + 0,58X_{18} + 0,76X_{19} - 0,81X_{20} - 0,66X_{21} + 0,48X_{22} + 0,57X_{23}$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность ($\delta=1,1541$), коэффициент множественной корреляции ($R=0,94472$), критерий Стьюдента ($tr=221,365 \gg 2$) и критерий Фишера (полученное расчетное значение критерия Фишера было больше теоретического

критерия Фишера). Поэтому был сделан вывод об адекватности модели ТП приготовления мармеладной массы, что позволило определить существенное влияние входных и режимных параметров на исследуемый процесс.

Разработка СПММ ТП темперирования мармеладной массы

Темперирование мармеладной массы протекает в специальном аппарате непрерывно при весьма интенсивном перемешивании.

Анализ полученных данных позволил установить:

Входные параметры:

X_{28} – вязкость мармеладной массы, $\mu_{\text{шм}}$, 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, n , об/мин;

Выходные параметры:

$Y_{1\text{мм}}$ (X_{35}) – конечная вязкость мармеладной массы, $\mu_{\text{мм}}$, Па·с.

$Y_{2\text{мм}}$ (X_{36}) – температура мармеладной массы, T , °С.

Таким образом, основным критерием состояния шоколадной массы после темперирования, характеризующим готовность проведения формование изделий, является конечная величина вязкости, которая имеет для каждого сорта приготавливаемой мармеладной массы определенное значение.

На основании полученных данных была спроектирована структурно-параметрическую модель (СПМ) процесса темперирования мармеладной массы, представленная на рисунке 4.42.

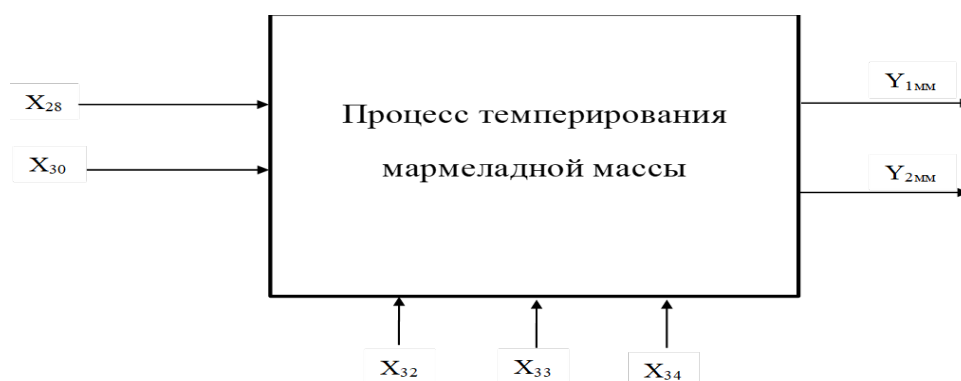


Рис. 4.4. СПМ процесса темперирования мармеладной массы

Спроектирована математическая модель процесса темперирования мармеладной массы (уравнения 4.33):

$$Y_{1\text{мм}} = 0,97X_{28} - 0,66X_{30} - 0,68X_{32} - 0,63X_{33} + 0,48X_{34} \quad (4.33)$$

$$Y_{2\text{мм}} = - 0,76X_{28} + 0,95X_{30} + 0,48X_{32} + 0,93X_{33} + 0,44X_{34}$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность ($\delta=1,0354$), коэффициент множественной корреляции ($R=0,9672$), критерий Стьюдента ($tr=242,157 \gg 2$) и критерий Фишера (полученное расчетное значение критерия Фишера было больше теоретического критерия Фишера). Поэтому был сделан вывод об адекватности вышеприведённого уравнения, что позволило определить существенное влияние входного и режимных параметров на процесс темперирования мармеладной массы.

Разработка СПММ ТП формования мармелада

Формование мармелада подробно описано в 1 главе настоящей работы в разделе 1.2.5 «Анализ ТП производства мармелада».

Эффективность процесса формования зависит от качества мармеладной массы после темперирования, а также от желирования, структурообразования и формования мармелада. Анализ полученных данных позволил установить входные параметры, а также условия, влияющие на эти процессы.

Входные параметры:

X_{35} – конечная вязкость мармеладной массы, $\mu_{\text{мм}}$, Па·с.

X_{36} – температура мармеладной массы, T , °С.

Режимные параметры:

X_{37} – температура охлаждающей камеры с вентилятором и холодильной батареей, 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:

$Y_{1\text{м}}$ (X_{41}) – вкус готового мармелада, В;

- $Y_{2M}(X_{42})$ – запах готового мармелада, З;
 $Y_{3M}(X_{43})$ – цвет готового мармелада, Ц;
 $Y_{4M}(X_{44})$ – форма готового мармелада, Ф;
 $Y_{5M}(X_{45})$ – поверхность готового мармелада, П;
 $Y_{6M}(X_{46})$ – консистенция готового мармелада, К.
 $Y_{7M}(X_{47})$ – температура готового мармелада, Т, °С;

На основании полученных данных была спроектирована структурно-параметрическую модель (СПМ) процесса формования мармелада, представленная на рисунке 4.43.



Рис. 4.43. СПМ процесса формования мармелада

Была спроектирована математическая модель процесса формования мармелада (уравнения 4.34):

$$Y_{1M} = 0,62X_{35} + 0,44X_{36} + 0,48X_{37} + 0,65X_{38} + 0,68X_{39} + 0,72X_{40} \quad (4.34)$$

$$Y_{2M} = 0,41X_{35} + 0,32X_{36} + 0,34X_{37} + 0,72X_{38} + 0,71X_{39} + 0,76X_{40}$$

$$Y_{3M} = 0,47X_{35} + 0,52X_{36} + 0,54X_{37} + 0,76X_{38} + 0,66X_{39} + 0,62X_{40}$$

$$Y_{4M} = 0,84X_{35} + 0,72X_{36} + 0,68X_{37} + 0,81X_{38} + 0,72X_{39} + 0,66X_{40}$$

$$Y_{5M} = 0,94X_{35} + 0,33X_{36} - 0,84X_{37} + 0,87X_{38} - 0,78X_{39} + 0,79X_{40}$$

$$Y_{6M} = 0,96X_{35} - 0,64X_{36} + 0,49X_{37} + 0,62X_{38} + 0,78X_{39} + 0,74X_{40}$$

$$Y_{7M} = 0,22X_{36} + 0,94X_{37} - 0,32X_{38} + 0,92X_{39} + 0,76X_{40}$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность ($\delta=1,0168$), коэффициент множественной корреляции ($R=0,9288$), критерий Стьюдента ($tr=235,744 \gg 2$) 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 входного и режимных параметров на процесс формования мармелада.

4.1.7. Структурно – параметрические и математические модели ТП производства карамели

Структурная схема основных стадий производства леденцовой карамели представлена в 1 главе, разделе 1.2.6. «Анализ ТП производства карамели», а также в наших статьях [28, 38].

Исходным сырьем для получения карамели служит сахар- песок, вода и патока. Поэтому первым процессом, который подлежит анализу является процесс приготовления сахаро- паточного сиропа.

Разработка СПММ ТП приготовления сахаро-паточного сиропа (СПС)

Сахаро-паточный сироп 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 сахаро-паточного сиропа. Также были определены наиболее значимые выходные параметры, характеризующие качество полученного в процессе приготовления этого сахарного- паточного сиропа.

Основные входные параметры процесса:

X_1 - угол естественного откоса (для определения гранулометрического состава сахара – песка), град. 40 – 50;

X_2 - активная кислотность рН, 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 2×10^{-2} Па·с до 28×10^{-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 4.44 представлена разработанная структурно-параметрическая модель.

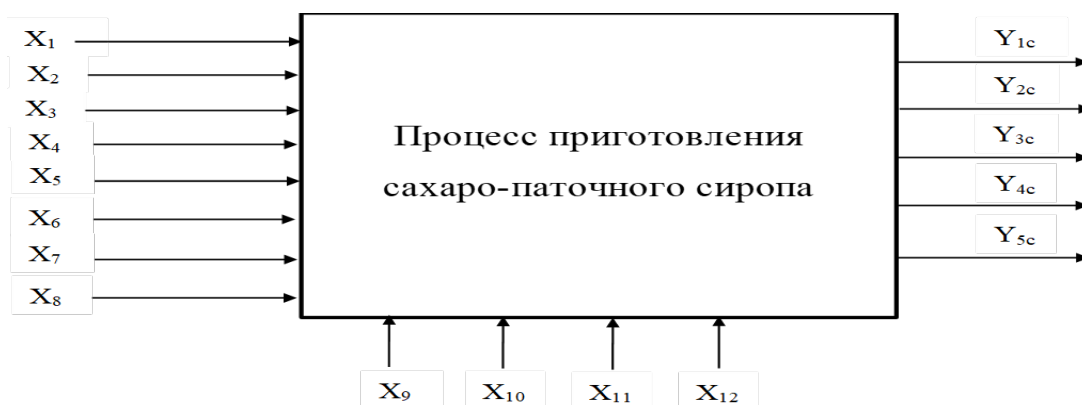


Рис. 4.44. СПМ процесса приготовления СПС.

Параметрическое моделирование процесса подготовки сырья к производству карамели сводилось к построению матриц взаимосвязей (п.4.2.1.). Разработанные по описанной выше методике СПМ корреляционных, регрессионных и безразмерных сопоставимых оценок параметрических связей участка приготовления сахаро-паточного сиропа подробно описаны в наших статьях [28, 38].

Математическая модель ТП приготовления сахаро-паточного сиропа (уравнения 4.35):

$$Y_{1c}(X_{13}) = 0,25X_2 + 0,48X_3 + 0,37X_4 + 0,76X_5 + 0,82X_8 + 0,47X_9 + 0,55X_{10} + 0,42X_{11} + 0,36X_{12} \quad (4.35)$$

$$Y_{2c}(X_{14}) = 0,49X_2 + 0,52X_3 + 0,47X_4 + 0,91X_6 + 0,51X_9 + 0,52X_{10} + 0,33X_{11} + 0,28X_{12}$$

$$Y_{3c}(X_{15}) = 0,45X_2 + 0,38X_3 + 0,31X_4 + 0,94X_7 + 0,51X_9 + 0,48X_{10} + 0,56X_{11} + 0,22X_{12}$$

$$Y_{4c}(X_{16}) = 0,68X_1 + 0,34X_2 + 0,73X_3 + 0,72X_4 + 0,22X_8 + 0,36X_9 + 0,38X_{10} + 0,46X_{11} + 0,52X_{12}$$

$$Y_{5c}(X_{17}) = 0,21X_2 + 0,29X_3 + 0,46X_9 + 0,57X_{10} + 0,38X_{11} + 0,74X_{12}$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность, коэффициент множественной корреляции, критерий Стьюдента и критерий Фишера (полученное расчетное значение критерия Фишера было больше теоретического критерия Фишера). Поэтому был сделан вывод об адекватности вышеприведённой математической модели (уравнения 4.142 – 4.146), что позволило определить существенное влияние входных и режимных параметров на ТП подготовки сырья к производству карамели.

Разработка СПММ ТП приготовления карамельной массы – уваривание карамельной массы

Важный этапом производства карамели является ТП приготовления карамельной массы.

Входные параметры:

- X₁₃ - цвет готового сахарно- паточного сиропа, Ц;
- X₁₄ - вкус готового сахарно- паточного сиропа, В;
- X₁₅ - запах готового сахарно- паточного сиропа, З;
- X₁₆ – температура сахарно- паточного сиропа, T_с. (от 105 до 109 °С);
- X₁₇ – влажность сахарно- паточного сиропа, W (от 14% до 19%);

Режимные параметры:

- X₁₉ – температура процесса перемешивания T_{сб}. от 90°С до 100 °С;
- X₂₂ – частота вращения мешалки n (от 0,35 1/с до 0,65 1/с).
- X₂₃ – давление пара в варочном аппарате P (от 98 кПа до 120 кПа).

Выходные параметры:

- Y_{1км} (X₂₄) - цвет карамельной массы, Ц;
- Y_{2км} (X₂₅) - вкус карамельной массы, В;
- Y_{3км} (X₂₆) - запах карамельной массы а, З;
- Y_{4км} (X₂₇) – влажность карамельной массы, W (от 1,5 до 4 %).
- Y_{5км} (X₂₈) - вязкость карамельной массы, η;
- Y_{6км} (X₂₉) - рН карамельной массы на выходе, (3.1 – 3,2);
- Y_{7км} (X₃₀) – температура карамельной массы на выходе, T_{мм} (от 106 - 107 °С);

На рисунке 4.45 представлена структурно- параметрическая модель ТП приготовления карамельной массы.

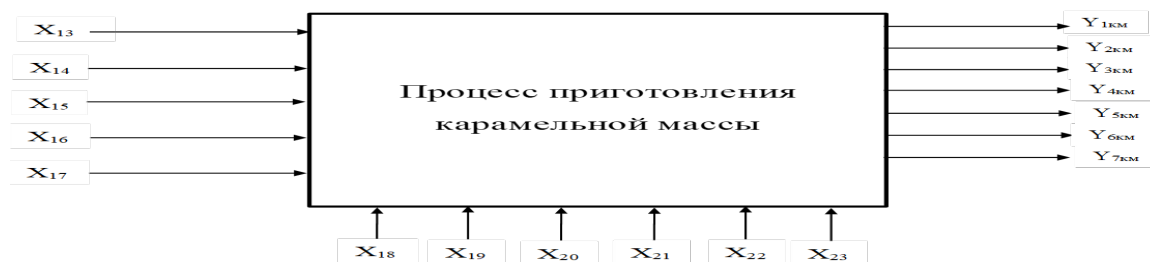


Рис. 4.45. СПМ процесса приготовления карамельной массы

Спроектирована математическая модель ТП приготовления карамельной массы (уравнения 4.36):

$$Y_{1кМ} = 0,94X_{13} + 0,52X_{16} + 0,49X_{17} + 0,53X_{18} + 0,44X_{19} + 0,61X_{20} + 0,51X_{21} + 0,42X_{22} + 0,58X_{23} \quad (4.36)$$

$$Y_{2кМ} = 0,93X_{14} + 0,39X_{15} + 0,57X_{16} + 0,63X_{17} + 0,48X_{18} + 0,46X_{19} + 0,56X_{20} + 0,66X_{21} + 0,32X_{22} + 0,27X_{23}$$

$$Y_{3кМ} = 0,26X_{14} + 0,94X_{15} + 0,48X_{16} + 0,51X_{17} + 0,49X_{18} + 0,52X_{19} + 0,54X_{20} + 0,65X_{21} + 0,22X_{22} + 0,43X_{23}$$

$$Y_{4кМ} = 0,62X_{16} + 0,81X_{17} - 0,58X_{18} - 0,63X_{19} - 0,84X_{20} - 0,78X_{21} - 0,46X_{22} + 0,47X_{23}$$

$$Y_{5кМ} = 0,63X_{16} + 0,68X_{17} + 0,59X_{18} + 0,74X_{19} + 0,76X_{20} + 0,67X_{21} + 0,45X_{22} + 0,41X_{23}$$

$$Y_{6кМ} = 0,59X_{14} + 0,25X_{15} + 0,37X_{16} + 0,49X_{17} + 0,34X_{18} + 0,36X_{19} + 0,47X_{20} + 0,41X_{21} + 0,27X_{22} + 0,48X_{23}$$

$$Y_{7кМ} = 0,43X_{13} + 0,53X_{14} + 0,51X_{15} + 0,49X_{16} + 0,72X_{17} + 0,54X_{18} + 0,95X_{19} + 0,35X_{20} + 0,91X_{21} + 0,42X_{22} + 0,38X_{23}$$

Разработка СПММ ТП охлаждения и обработки карамельной массы

Полученная карамельная масса подается на барабан охлаждающей машины. На охлаждающей машине карамельная масса быстро охлаждается до 68-70°C.

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} - рН карамельной массы на выходе, (3.1 – 3,2);

X_{30} – температура карамельной массы на выходе, $T_{\text{мм}}$ (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 проминальном транспортере, τ , мин.;

Выходные параметры:

$Y_{1\text{кмо}}$ (X_{34}) – конечная вязкость карамельной массы, $\mu_{\text{мм}}$, Па·с.

$Y_{2\text{кмо}}$ (X_{35}) – температура карамельной массы, T , °С;

$Y_{3\text{кмо}}$ (X_{36}) – цвет карамельной массы, Ц;

$Y_{4\text{кмо}}$ (X_{37}) – вкус карамельной массы, В;

$Y_{5\text{кмо}}$ (X_{38}) – запах карамельной массы, З;

Таким образом, основным критерием состояния карамельной массы после охлаждения и обработки, характеризующим готовность к проведению формования конфет, является конечная величина вязкости, которая имеет для каждого сорта приготавливаемой карамели определенное значение, выходная температура, а также органолептические показатели полученной карамельной массы: цвет, вкус и запах. На основании полученных данных была спроектирована структурно-параметрическую модель (СПМ) процесса охлаждения и обработки карамельной массы, представленная на рисунке 4.46.

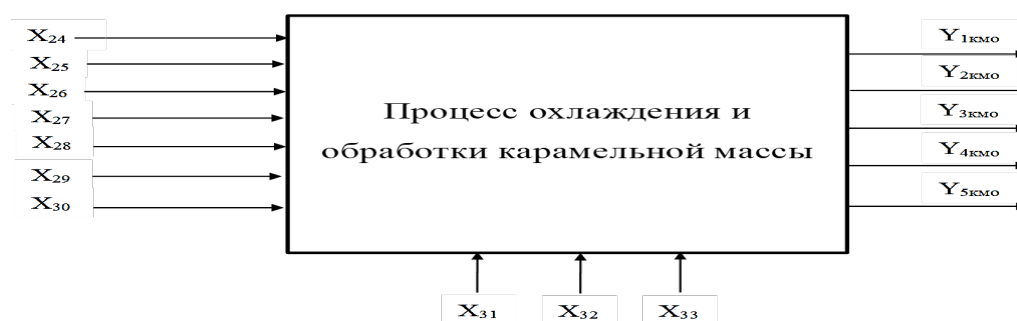


Рис. 4.46. СПМ процесса охлаждения и обработки карамельной массы

Спроектирована математическая модель процесса охлаждения и обработки карамельной массы (уравнения 4.37):

$$Y_{1\text{кмо}} = -0,67X_{27} + 0,95X_{28} + 0,31X_{29} + 0,61X_{30} + 0,72X_{31} + 0,73X_{32} + 0,68X_{33} \quad (4.37)$$

$$Y_{2\text{кмо}} = 0,49X_{27} + 0,52X_{28} + 0,81X_{30} + 0,62X_{31} + 0,78X_{32} + 0,56X_{33}$$

$$Y_{3\text{кмо}} = 0,94X_{24} + 0,26X_{25} + 0,49X_{26} + 0,56X_{27} + 0,62X_{28} + 0,33X_{29} + 0,52X_{30} + 0,57X_{31} + 0,58X_{32} + 0,65X_{33}$$

$$Y_{4\text{кмо}} = 0,24X_{24} + 0,87X_{25} + 0,41X_{26} - 0,61X_{27} + 0,64X_{28} + 0,61X_{29} + 0,51X_{30} + 0,56X_{31} + 0,58X_{32} + 0,68X_{33}$$

$$Y_{5\text{кмо}} = 0,32X_{25} + 0,92X_{26} + 0,67X_{27} + 0,64X_{28} + 0,61X_{29} + 0,71X_{30} + 0,72X_{31} + 0,68X_{32} + 0,87X_{33}$$

Разработка СПММ ТП формования и охлаждения карамели

Процессы формования и охлаждения карамели подробно описаны в 1 главе настоящей работы в разделе 1.2.6 «Анализ ТП производства карамели».

Анализ полученных данных позволил установить входные и выходные параметры, а также условия, влияющие на исследуемые процессы.

Входные параметры:

X_{34} – конечная вязкость карамельной массы, $\mu_{\text{мм}}$, Па·с.

X_{35} – температура карамельной массы, T , °С (от 32 0С до 42 0С);

Режимные параметры:

X_{39} - скорость выхода карамельной массы из матричного отверстия, V_m (от 9 до 15 мм/с);

X_{40} - скорость транспортерной ленты, $V_{\text{тл}}$ - 22,7 мм/с, (может меняться 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:

$Y_{1\text{к}}$ (X_{44}) – вкус готовой карамели, В;

$Y_{2\text{к}}$ (X_{45}) – запах готовой карамели, З;

$Y_{3\text{к}}$ (X_{46}) – цвет готовой карамели, Ц;

$Y_{4\text{к}}$ (X_{47}) – форма готовой карамели, Ф;

$Y_{5\text{к}}$ (X_{48}) – консистенция готовой карамели, К.

$Y_{6\text{к}}$ (X_{49}) – температура готовой карамели, T , °С;

На основании полученных данных была спроектирована структурно-параметрическую модель (СПМ) процессов формования и охлаждения карамели, представленная на рисунке 4.47.



Рис. 4.47. СПМ процессов формования и охлаждения карамели

Спроектирована математическая модель процессов формования и охлаждения карамели (уравнения 4.38):

$$Y_{1к} = 0,63X_{34} + 0,64X_{35} + 0,34X_{39} - 0,48X_{41} + 0,67X_{42} + 0,62X_{43} \quad (4.38)$$

$$Y_{2к} = 0,42X_{34} + 0,64X_{35} + 0,52X_{39} + 0,58X_{42} + 0,52X_{43}$$

$$Y_{3к} = 0,47X_{34} + 0,53X_{35} + 0,44X_{39} + 0,57X_{40} + 0,62X_{41} + 0,67X_{42} + 0,59X_{43}$$

$$Y_{4к} = 0,76X_{34} + 0,78X_{35} + 0,69X_{39} + 0,65X_{40} + 0,68X_{41} + 0,72X_{42} + 0,68X_{43}$$

$$Y_{5к} = 0,92X_{34} + 0,74X_{35} + 0,78X_{39} + 0,62X_{41} + 0,74X_{42} + 0,71X_{43}$$

$$Y_{6к} = 0,58X_{34} + 0,88X_{35} + 0,66X_{39} + 0,57X_{41} + 0,92X_{42} + 0,78X_{43}$$

4.1.8. 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 СПММ ТП приготовления агаро- сахаро- паточного сиропа

Агар добывают из водорослей.

Проведенные исследования и их анализ позволили выявить основные параметры, влияющие на процесс приготовления агаро-сахаро-паточного сиропа. Также были определены наиболее значимые выходные параметры, характеризующие качество полученного в процессе приготовления агаро-сахаро- паточного сиропа.

Основные входные параметры процесса:

X_1 - угол естественного откоса (для определения гранулометрического состава сахара – песка), град. 40 – 50;

X_2 - активная кислотность рН 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 4.48 представлена разработанная СПМ процесса приготовления АСПС.

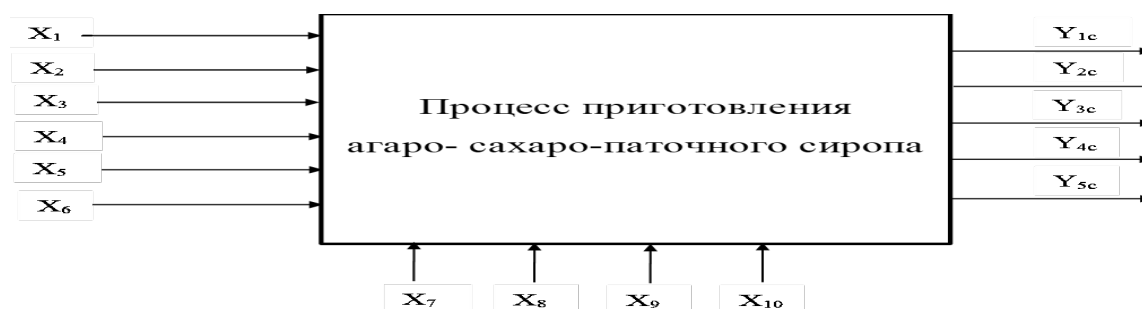


Рис. 4.48. СПМ процесса приготовления АСПС

Математическая модель ТП приготовления АСПС (уравнения 4.39) :

$$Y_{1c}(X_{11}) = 0,26X_2 + 0,51X_3 + 0,39X_4 + 0,76X_5 + 0,84X_6 + 0,52X_7 + 0,48X_8 + 0,56X_9 + 0,45X_{10} \quad (4.39)$$

$$Y_{2c}(X_{12}) = 0,52X_2 + 0,72X_3 + 0,53X_4 + 0,36X_6 + 0,53X_7 + 0,47X_8 + 0,51X_9 + 0,36X_{10}$$

$$Y_{3c}(X_{13}) = 0,45X_2 + 0,38X_3 + 0,31X_4 + 0,47X_7 + 0,51X_8 + 0,56X_9 + 0,43X_{10}$$

$$Y_{4c}(X_{14}) = 0,68X_1 + 0,83X_3 + 0,85X_4 + 0,42X_7 + 0,55X_8 + 0,77X_9 + 0,63X_{10}$$

$$Y_{5c}(X_{15}) = 0,21X_2 + 0,62X_3 + 0,47X_4 + 0,46X_7 + 0,45X_8 + 0,68X_9 + 0,64X_{10}$$

Разработка СПММ ТП приготовления зефирной массы

Важный этапом производства зефира является ТП приготовления зефирной массы.

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 P , 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, P , кг/м², от 425 – 450 кг/м²;

Выходные параметры:

$Y_{13м}$ (X_{24}) - цвет сбивной зефирной массы, Ц;

$Y_{23м}$ (X_{25}) - вкус сбивной зефирной массы, В;

$Y_{33м}$ (X_{26}) - запах сбивной зефирной массы, З;

$Y_{43м}$ (X_{27}) - массовая доля сухих веществ в сбивной массе, W от 78 до 80 %;

$Y_{53м}$ (X_{27}) – консистенция зефирной массы.

На рисунке 4.49 представлена структурно- параметрическая модель ТП приготовления сбивной зефирной массы.



Рис. 4.49. СПМ процесса приготовления сбивной зефирной массы

Спроектирована математическая модель ТП приготовления сбивной зефирной массы (уравнения 4.40):

$$Y_{13м} = 0,94X_{11} + 0,48X_{16} + 0,35X_{17} + 0,67X_{19} + 0,61X_{20} + 0,25X_{22}$$

$$+0,52X_{23} \quad (4.40)$$

$$Y_{23M}=0,92X_{12}+0,63X_{14}+0,58X_{15}+0,51X_{16}+0,74X_{17}+0,64X_{19} \\ +0,47X_{20}+0,21X_{22}+0,52X_{23}$$

$$Y_{33M}=0,95X_{13}+0,48X_{14}+0,51X_{15}+0,62X_{16}+0,73X_{17}+0,55X_{19}+0,49X_{20} \\ +0,54X_{23}$$

$$Y_{43M}=0,62X_{14}+0,58X_{15}+0,66X_{16}+0,83X_{17}+0,47X_{18}+0,63X_{19}-0,59X_{20} \\ +0,52X_{22}-0,61X_{23}$$

$$Y_{53M}=0,62X_{14}+0,68X_{15}+0,58X_{16}+0,93X_{17}-0,43X_{18}+0,64X_{19}+0,75X_{20} \\ +0,28X_{21}+0,53X_{22}+0,51X_{23}$$

Разработка СПММ ТП формования зефирной массы

Формование зефирной массы подробно описано в 1 главе настоящей работы, раздел 1.2.7. «Анализ ТП производства зефира».

Анализ полученных данных позволил установить входные параметры, а также условия, влияющие на процесс формования сбивного слоя конфет.

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 сбивной зефирной массы, поступающей на формование, T, °C (от 32 °C до 42 °C);

X_{29} - вязкость сбивной конфетной массы, μ , Па·с (от 4×10^{-2} Па·с; до 32×10^{-2} Па·с);

Режимные параметры:

X_{30} - скорость выхода сбивного слоя из матричного отверстия станции отсадки зефира, V_m (от 9 до 15 мм/с);

X_{31} - скорость транспортерной ленты, $V_{тл}$, мм/с, (может меняться от 20 до 24,5 мм/с);

Выходные параметры:

Y_{13} (X_{32}) – форма полученных конфет зефира на выходе, h (от 0,8 до 1,2 мм);

Y_{23} (X_{33}) - вкус зефира после формования, В;

Y_{33} (X_{34}) - внешний вид поверхности зефира после формования, ВнВ;

Y_{43} (X_{35}) - цвет зефира после формования, Ц;

Y_{53} (X_{36}) – консистенция зефира.

На рисунке 4.50 представлена СПМ процесса формирования зефира.



Рис. 4.50. СПМ процесса формирования зефира

Спроектирована математическая модель процесса формирования зефира (уравнения 4.41):

$$Y_{1з} = -0,65X_{27} - 0,63X_{28} + 0,77X_{29} - 0,42X_{30} + 0,37X_{31} \quad (4.41)$$

$$Y_{2з} = 0,95X_{25} - 0,64X_{27} - 0,65X_{28} + 0,78X_{29} + 0,21X_{30}$$

$$Y_{3з} = 0,62X_{24} + 0,77X_{27} + 0,61X_{28} + 0,79X_{29} - 0,52X_{30} - 0,36X_{31}$$

$$Y_{4з} = 0,95X_{24} + 0,57X_{27} + 0,52X_{28} + 0,61X_{29}$$

$$Y_{5з} = -0,77X_{27} + 0,65X_{28} + 0,92X_{29} - 0,33X_{30} - 0,22X_{31}$$

Разработка СПММ 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.

Процессы структурообразования зефирной массы, подсушки половинок зефира и приготовления зефира. зависят от показателей качества формирования зефирной массы. Анализ полученных данных позволил установить:

Входные параметры:

X₃₂ – форма полученных половинок зефира после формирования, Ф;

X₃₃ - вкус зефира после формирования, В;

X₃₄ - внешний вид поверхности половинок зефира после формирования, ВнВ;

X₃₅ - цвет половинок зефира после формирования, Ц;

X₃₆ – консистенция зефира после формирования, К;

X₃₇ - температура массы при отсаживании, Т, °С, не ниже 55°С;

X_{38} – температура половинок зефира на входе в сушильную камеру, T , не выше 32°C ;

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 , $^{\circ}\text{C}$, от $27,5$ до 30°C ;

X_{42} - относительная влажность воздуха при подсушке, W , %, от 55 до 60 %;

X_{43} - температура сушки половинок зефира, T , $^{\circ}\text{C}$, от 33 до 35°C ;

X_{44} - относительная влажность воздуха при сушке, W , %, от 50 до 60 %;

X_{45} - содержание сухих веществ зефире после подсушки, W , %, от 77 до 82 %;

X_{46} - время сушки половинок зефира, τ , час., от 5 до 6 час.;

Выходные параметры:

$Y_{1гз}$ (X_{47}) – температура готового зефира, T , $^{\circ}\text{C}$;

$Y_{2гз}$ (X_{48}) – состояние поверхности, целостность зефира, Π ;

$Y_{3гз}$ (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 4.51 представлена СПМ структурообразования зефирной массы, подсушки половинок зефира и приготовления зефира.

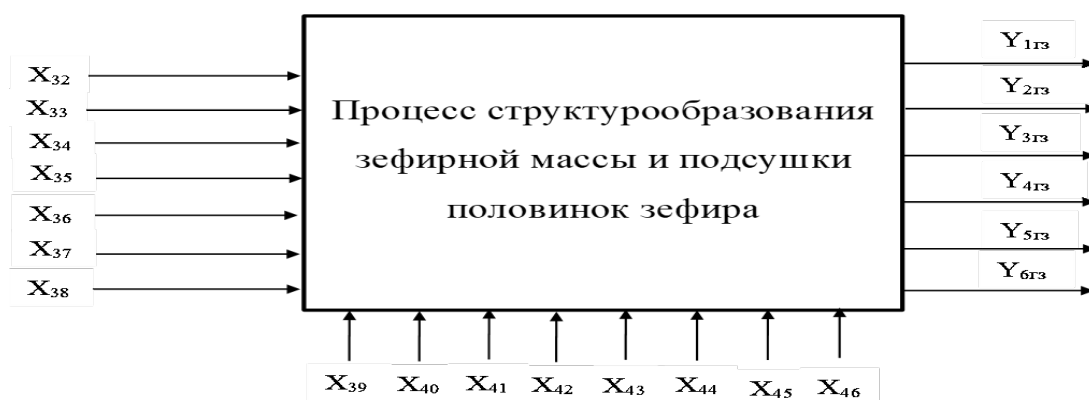


Рис. 4.51. СПМ процессов структурообразования зефирной массы, подсушки половинок зефира и приготовления зефира

Получена математическая модель процессов структурообразования зефирной массы, подсушки половинок зефира и приготовления зефира (уравнения 4.42):

$$Y_{1гз} = 0,46X_{36} + 0,65X_{36} + 0,68X_{37} + 0,74X_{38} + 0,57X_{39} + 0,55X_{40}$$

$$+ 0,75X_{41} - 0,37X_{42} + 0,79X_{43} + 0,38X_{44} + 0,44X_{45} + 0,87X_{46} \quad (4.42)$$

$$Y_{2ГЗ} = 0,86X_{32} + 0,85X_{34} + 0,45X_{36} - 0,54X_{37} - 0,67X_{38} + 0,71X_{39} + 0,68X_{40} \\ + 0,75X_{41} - 0,37X_{42} + 0,79X_{43} + 0,38X_{44} - 0,43X_{45} + 0,87X_{46}$$

$$Y_{3ГЗ} = 0,76X_{34} + 0,93X_{35} + 0,42X_{36} + 0,65X_{37} + 0,72X_{38} + 0,47X_{39} + 0,35X_{40} \\ + 0,57X_{41} + 0,37X_{42} + 0,75X_{43} + 0,41X_{44} + 0,44X_{45} + 0,57X_{46}$$

$$Y_{4ГЗ} = 0,92X_{33} + 0,54X_{36} + 0,68X_{37} + 0,71X_{38} + 0,72X_{38} + 0,47X_{39} + 0,35X_{40} \\ + 0,57X_{41} + 0,39X_{42} + 0,72X_{43} + 0,41X_{44} + 0,47X_{45} + 0,61X_{46}$$

$$Y_{5ГЗ} = 0,45X_{36} + 0,49X_{37} + 0,38X_{38} + 0,55X_{39} + 0,42X_{40} \\ + 0,55X_{41} + 0,37X_{42} + 0,73X_{43} + 0,41X_{44} + 0,53X_{45} + 0,67X_{46}$$

$$Y_{6ГЗ} = 0,48X_{32} + 0,96X_{36} + 0,71X_{37} + 0,72X_{38} + 0,75X_{39} + 0,62X_{40} \\ + 0,65X_{41} + 0,42X_{42} + 0,73X_{43} + 0,51X_{44} + 0,67X_{45} + 0,63X_{46}$$

4.1.9. 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 основные параметры, влияющие на процесс сепарирования семян подсолнечника. Также были определены наиболее значимые выходные параметры, характеризующие качество полученного в процессе сепарирования сырья.

Входные параметры:

X_1 - влажность семян подсолнечника (f) (13,5-14,5%);

X_2 - температура семян подсолнечника (t) (25-40°C);

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 (P) (1200-1500 м³/т);

X_6 - частота колебаний сита при сепарировании (n) (2,5-5 об/мин)

Выходные параметры:

$Y_{1\text{сп}}$ (X_7) - выходной параметр - коэффициент извлечения примеси в семенах подсолнечника, характеризующий качество основного сырья, %;

$Y_{2\text{сп}}$ (X_8) - выходной параметр - внешний вид семян подсолнечника (размер, цвет, состояние поверхности, целостность).

На рисунке 4.52 представлена разработанная СПМ подготовки сырья к производству козинак.

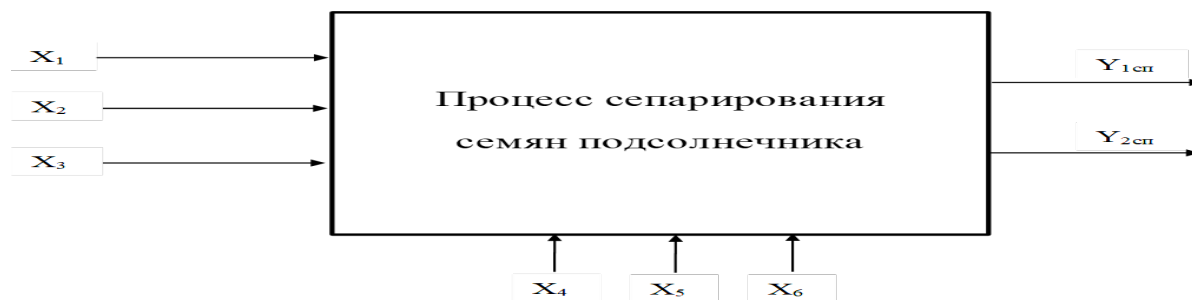


Рис. 4.52. СПМ процесса подготовки сырья

На основании полученных результатов была выведена математическая модель (уравнения 4.53) процесса сепарирования семян подсолнечника:

$$Y_{1\text{сп}} = -0,72 X_1 + 0,53 X_2 - 0,81 X_3 - 0,54 X_4 + 0,78 X_5 + 0,64 X_6 \quad (4.53)$$

$$Y_{2\text{сп}} = -0,62 X_1 + 0,54 X_3 + 0,56 X_5 + 0,48 X_6$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность ($\delta=1,1428$), коэффициент множественной корреляции ($R=0,92178$), критерий Стьюдента ($t_r=221,67 \gg 2$), критерий Фишера (полученное расчетное значение критерия Фишера было больше теоретического критерия 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 (Вн.в. - размер, цвет, состояние поверхности, целостность) при его подготовке к производству козинак.

Аналогично по описанной выше методике составлены СПМ параметрических связей остальных выделенных участков производства козинак.

Разработка СПММ ТП приготовления сахарного сиропа

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, 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, 90—95°C;

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 4.53 представлена СПМ ТП приготовления сахарного сиропа.

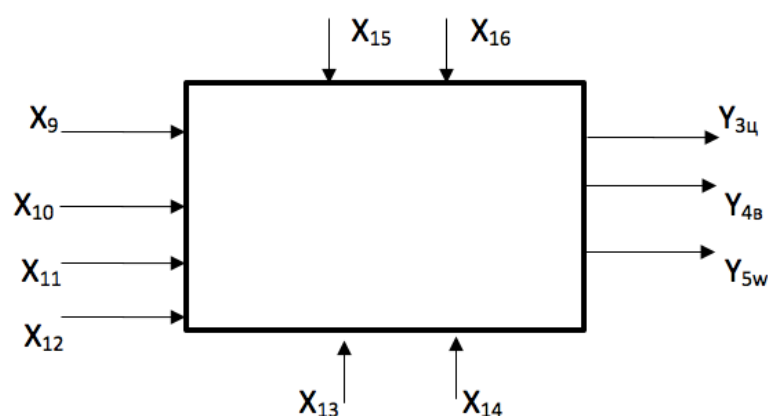


Рис. 4.53. СПМ приготовления сахарного сиропа

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 (уравнения 4.43):

$$Y_{3ц} = 0,2 X_{13} + 0,36 X_{14} \quad (4.43)$$

$$Y_{4в} = 0,09 X_{13} - 0,46 X_{15} - 0,53 X_{16}$$

$$Y_{5w} = 0,61 X_{12} + 0,75 X_{15}$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по относительной погрешности ($\delta=1,2114$), коэффициенту множественной корреляции ($R = 0,93087$), критерию Стьюдента ($tr=274,367 \gg 2$), критерию Фишера ($F_p \gg F_T$). С учётом результатов проведенных расчетов был сделан вывод об адекватности вышеприведённой математической модели (уравнения 4.43).

Проведенные исследования позволили выявить основные параметры, влияющие на процесс приготовления карамельного сиропа.

На основании проведенных исследований этого процесса и расчетов полученных экспериментальных данных получены математические модели показателей качества карамельного сиропа (уравнения 4.44):

$$Y_{6кс} = 0,36 X_{22} + 0,57 X_{23} + 0,51 X_{26} \quad (4.44)$$

$$Y_{7кс} = 0,75 X_{25} + 0,39 X_{26}$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность ($\delta=1,0384$), коэффициент множественной корреляции ($R=0,92518$), критерий Стьюдента ($tr=241,38 \gg 2$), критерий Фишера (значение критерия Фишера расчетное больше критерия Фишера теоретического в ≈ 10 раз). С учётом вышеизложенного был сделан вывод об адекватности полученной математической модели. Таким образом, предложенный метод СПМ позволяет определить влияние входных параметров на выходные органолептические показатели качества карамельного сиропа.

Разработка СПММ ТП вымешивания карамельной массы с семенами подсолнечника

Следующим этапом приготовления козинак является процесс вымешивания карамельной массы с семенами подсолнечника.

Проведенные исследования позволили выявить основные параметры, влияющие на процесс вымешивания. Также были определены наиболее значимые

выходные параметры, характеризующие качество полученного в процессе вымешивания массы козинак.

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 оС);

X_{31} - количество оборотов мешалки в смесителе, n (50-60 об/мин.);

X_{32} - температура воды в рубашке смесителя, T (40-50 оС);

X_{33} - влажность поступающей карамельной массы, W (60-70 %);

$Y_{8\text{МК}}$ (X_{34}) - температура полученной на выходе массы козинак, T от 90—95°С;

$Y_{9\text{МК}}$ (X_{35}) – влажность массы козинак после вымешивания, W (16– 18 %);

$Y_{10\text{МК}}$ (X_{36}) - цвет массы козинак после вымешивания, Ц;

$Y_{11\text{МК}}$ (X_{37}) - вкус массы козинак после вымешивания, Ц;

На рисунке 4.54 представлена разработанная структурно-параметрическая модель (СПМ) ТП вымешивания массы козинак.

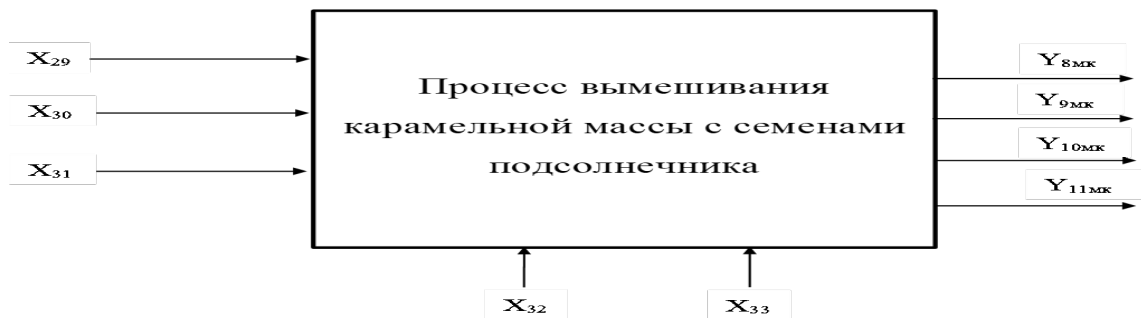


Рис. 4.54. СПМ процесса вымешивания массы козинак

Структурно-параметрическое моделирование процесса вымешивания массы халвы сводилось к построению матриц взаимосвязей, алгоритм определения которых был описан в разделе 4.1.1 настоящей работы. Разработанные по описанной выше методике СПМ корреляционных, регрессионных и безразмерных сопоставимых оценок параметрических связей процесса вымешивания массы козинак подробно описаны в наших статьях [18 – 20].

На основании проведенных расчетов получена математическая модель показателей качества процесса вымешивания массы козинак уравнения (4.45):

$$Y_{8\text{МК}}(X_{34}) = 0,61X_{29} + 0,92X_{30} + 0,67X_{31} + 0,75X_{32} - 0,57X_{33} \quad (4.45)$$

$$Y_{9\text{МК}}(X_{35}) = 0,64X_{29} + 0,75X_{30} + 0,66X_{31} + 0,46X_{32} + 0,93X_{33}$$

$$Y_{10\text{МК}}(X_{36}) = 0,21X_{29} + 0,44X_{30} + 0,55X_{31} + 0,58X_{33}$$

$$Y_{11\text{МК}}(X_{37}) = 0,18X_{29} + 0,64X_{30} + 0,58X_{31} + 0,51X_{33}$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность ($\delta=1,0538$), коэффициент множественной корреляции ($R=0,9356$), критерий Стьюдента ($tr=211,15 \gg 2$), критерий Фишера (значение критерия Фишера расчетное больше критерия Фишера теоретического). С учётом вышеизложенного был сделан вывод об адекватности полученной математической модели. Таким образом, предложенный метод СПМ позволяет определить влияние входных и режимных параметров.

Разработка СПММ ТП формирования конфет козинак

Полученная после вымешивания масса козинак далее поступает на формующую линию с туннелем охлаждения.

Проведенные исследования позволили выявить основные параметры, влияющие на процесс формирования конфет козинак. Также были определены наиболее значимые выходные параметры:

X_{41} - скорость транспортной ленты, $V_{\text{ТЛ}}$ мм/с, (20 - 24,5 мм/с);

X_{42} - температура охлаждения массы козинак, T (от 32 0С до 42 0С);

X_{43} - время охлаждения массы козинак, τ от 20 до 35 мин.;

$Y_{17\text{К}}(X_{44})$ - высота жгута козинак на выходе, h (от 0,8 до 1,2 мм);

$Y_{18\text{К}}(X_{45})$ - вкус готовых конфет козинак, B ;

$Y_{19\text{К}}(X_{46})$ - цвет готовых конфет козинак, Ц .

$Y_{20\text{К}}(X_{47})$ - запах готовых конфет козинак, B ;

$Y_{21\text{К}}(X_{48})$ - форма готовых конфет козинак, B ;

$Y_{22\text{К}}(X_{49})$ - консистенция готовых конфет козинак, K ;

$Y_{23\text{К}}(X_{50})$ - влажность готовых конфет козинак, W , %.

На рисунке 4.55 представлена СПМ ТП формирования конфет козинак.



Рис. 4.55. СПМ процесса формирования конфет козинак

На основании проведенных расчетов получены уравнения (4.46) математической модели процесса формования козинак:

$$Y_{8МК} (X_{34})=0,54X_{38}+0,52X_{39} +0,66 X_{40}+0,48 X_{41} -0,69 X_{42} 0,62X_{43} \quad (4.46)$$

$$Y_{8МК} (X_{34})=0,67X_{38}+0,66X_{39} +0,32 X_{40}+ 0,68 X_{42} 0,62X_{43}$$

$$Y_{8МК} (X_{34})=0,56X_{38}+0,53X_{39} + 0,62 X_{42} 0,51X_{43}$$

$$Y_{8МК} (X_{34})=0,34X_{38}+0,41X_{39} + 0,32 X_{42} 0,27X_{43}$$

$$Y_{8МК} (X_{34})=0,84X_{38}+0,82X_{39} +0,47 X_{40}+0,41 X_{41} -0,64 X_{42} + 0,62X_{43}$$

$$Y_{8МК} (X_{34})=0,95X_{38}+0,67X_{39} +0,42 X_{40}+0,25 X_{41} -0,57 X_{42} +0,78X_{43}$$

$$Y_{8МК} (X_{34})=0,81X_{38}+0,74X_{39} +0,24 X_{40}+0,15 X_{41} -0,67 X_{42} + 0,72X_{43}$$

Проведенные исследования позволили определить влияние входных и режимных параметров на процесс формования. Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность ($\delta=1,1336$), коэффициент множественной корреляции ($R=0,9082$), критерий Стьюдента ($tr=209,17 \gg 2$), критерий Фишера (значение критерия Фишера расчетное больше критерия Фишера теоретического). С учётом вышеизложенного был сделан вывод об адекватности полученной математической модели. Таким образом, предложенный метод СПМ позволяет определить влияние входных и режимных параметров. Далее готовые конфеты козинак направляют на упаковку.

4.1.10. Структурно – параметрические и математические модели ТП производства драже

Структурная схема основных стадий производства драже представлена в 1 главе, разделе 1.2.9. «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 СПММ ТП приготовления сахаро-паточного сиропа (поливочного сиропа для накатки)

Сахаро-паточный сироп получают при смешивании и нагреве в течение определенного времени сахара -песка, воды и патоки.

Основные входные параметры процесса:

X_1 - угол естественного откоса (для определения гранулометрического состава сахара – песка), град. 40 – 50;

X_2 - активная кислотность рН, 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.

На рисунке 4.56 представлена СПМ ТП приготовления сахаро-паточного сиропа.

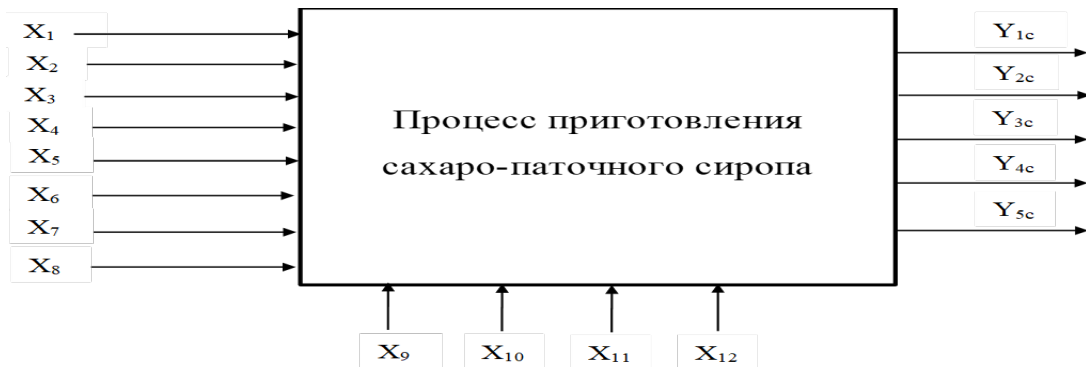


Рис. 4.56. СПМ ТП приготовления сахаро-паточного сиропа.

ММ ТП приготовления сахаро-паточного сиропа - поливочного сиропа для накатки представлена уравнениями 4.47:

$$Y_{1c}(X_{13}) = 0,25X_2 + 0,48X_3 + 0,37X_4 + 0,76X_5 + 0,82X_8 + 0,47X_9 + 0,55X_{10} + 0,42X_{11} + 0,36X_{12} \quad (4.47)$$

$$Y_{2c}(X_{14}) = 0,49X_2 + 0,52X_3 + 0,47X_4 + 0,91X_6 + 0,51X_9 + 0,52X_{10} + 0,33X_{11} + 0,28X_{12}$$

$$Y_{3c}(X_{15}) = 0,45X_2 + 0,38X_3 + 0,31X_4 + 0,94X_7 + 0,51X_9 + 0,48X_{10} + 0,56X_{11} + 0,22X_{12}$$

$$Y_{4c}(X_{16}) = 0,68X_1 + 0,34X_2 + 0,73X_3 + 0,72X_4 + 0,22X_8 + 0,36X_9 + 0,38X_{10} + 0,46X_{11} + 0,52X_{12}$$

$$Y_{5c}(X_{17}) = 0,21X_2 + 0,29X_3 + 0,46X_9 + 0,57X_{10} + 0,38X_{11} + 0,74X_{12}$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность, коэффициент множественной корреляции, критерий Стьюдента и критерий Фишера (полученное расчетное значение критерия Фишера было больше теоретического критерия Фишера). Поэтому был сделан вывод об адекватности вышеприведённой математической модели (уравнения 4.203 – 4.207), что позволило определить существенное влияние входных и режимных параметров на ТП подготовки сырья к производству драже.

Разработка СПММ ТП накатки корпусов драже

Процесс накатки производят в дражировочных котлах или.

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, °C, от 45 до 50 °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 м³/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, мм³;

На рисунке 4.57 представлена СПМ ТП накатки корпусов драже.

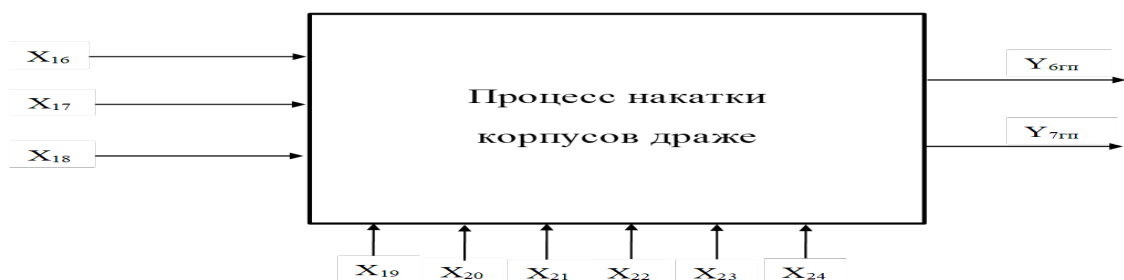


Рис. 4.57. СПМ ТП накатки корпусов драже

ММ ТП накатки корпусов драже представлена уравнениями 4.48:

$$Y_{6\text{гп}}(X_{25}) = 0,78X_{16} + 0,83X_{17} + 0,92X_{18} + 0,72X_{19} + 0,69X_{20} + 0,74X_{21} + 0,65X_{22} + 0,56X_{23} + 0,75X_{24} \quad (4.48)$$

$$Y_{7\text{гп}}(X_{26}) = 0,74X_{16} + 0,85X_{17} + 0,92X_{18} + 0,69X_{19} + 0,65X_{20} + 0,62X_{21} + 0,58X_{22} + 0,52X_{23} + 0,77X_{24}$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность, коэффициент множественной корреляции, критерий Стьюдента и критерий Фишера (полученное расчетное значение критерия Фишера было больше теоретического критерия Фишера). Поэтому был сделан вывод об адекватности вышеприведённой математической модели (уравнения 4.208 – 4.209), что позволило определить существенное влияние входных и режимных параметров на ТП накатки корпусов драже.

Разработка СПММ ТП глянцеваия и сушки драже

Глянцевание и сушка драже являются важнейшими этапами его производства. Цель глянцеваия состоит в придании драже ровной, гладкой и окрашенной поверхности.

Основные входные параметры процесса:

X_{26} – объем готового полуфабриката драже, V , мм³;

X_{27} – влажность поливочного сиропа, W , 17 – 18 %;

X_{28} – температура готового полуфабриката драже, T , °С, от 20 до 25 °С;

Режимные параметры:

X_{29} – температура поливочного сиропа, T , °С, от 70 до 80 °С;

X_{30} – продолжительность глянцеваия, τ , 20 – 30 мин.;

X_{31} – температура нагрева глянецовочного барабана, T , °С, 75 – 85°С;

X_{32} – скорость вращения глянецовочного барабана, f , 24 – 28 об/мин.;

X_{33} – расход воздуха, Q , 0,5 м³/мин.

X_{34} – температура в цехе, T , °С, от 18 до 22 °С;

X_{35} – влажность воздуха в цехе, W , 58 - 62 %.

X_{36} – время сушки готового драже, τ , в течение 20 – 24 ч.

Выходные параметры:

$Y_{8\text{гд}}(X_{37})$ – размеры готового драже, V , мм³;

$Y_{9\text{гд}}(X_{38})$ – содержание влаги в драже, W , 0,3 – 5,0 %;

$Y_{10\text{гд}}(X_{39})$ – форма готового драже, Φ ;

- $Y_{11\text{гд}}$ (X_{40}) – вкус готового драже, В;
 $Y_{12\text{гд}}$ (X_{41}) – аромат готового драже, З;
 $Y_{13\text{гд}}$ (X_{42}) – цвет готового драже, Ц;
 $Y_{14\text{гд}}$ (X_{43}) – состояние поверхности.

На рисунке 4.58 показана СПМ ТП глянцеования и сушки драже.



Рис. 4.58. СПМ ТП глянцеования и сушки драже

Получена ММ ТП глянцеования и сушки драже (уравнения 4.49):

$$Y_{8\text{гд}} (X_{37}) = 0,94X_{26} + 0,72X_{27} + 0,63X_{28} + 0,67X_{29} + 0,59X_{30} + 0,61X_{31} + 0,64X_{32} + 0,45X_{33} + 0,35X_{34} + 0,36X_{35} - 0,73X_{36} \quad (4.49)$$

$$Y_{9\text{гд}} (X_{37}) = 0,75X_{26} + 0,81X_{27} + 0,73X_{28} + 0,69X_{29} + 0,61X_{30} + 0,58X_{31} + 0,57X_{32} + 0,55X_{33} + 0,36X_{34} + 0,34X_{35} - 0,68X_{36}$$

$$Y_{10\text{гд}} (X_{37}) = 0,74X_{26} + 0,73X_{27} + 0,67X_{28} + 0,69X_{29} + 0,75X_{30} + 0,66X_{31} + 0,61X_{32} + 0,52X_{33} + 0,35X_{34} + 0,36X_{35} + 0,76X_{36}$$

$$Y_{11\text{гд}} (X_{37}) = 0,67X_{27} + 0,62X_{28} + 0,63X_{29} + 0,49X_{30} + 0,44X_{31} + 0,45X_{32} + 0,55X_{36}$$

$$Y_{12\text{гд}} (X_{37}) = 0,43X_{27} + 0,46X_{28} + 0,42X_{29} + 0,39X_{30} + 0,41X_{31} + 0,36X_{32} + 0,45X_{36}$$

$$Y_{13\text{гд}} (X_{37}) = 0,63X_{27} + 0,62X_{28} + 0,64X_{29} + 0,74X_{30} + 0,61X_{31} + 0,57X_{32} + 0,51X_{33} + 0,72X_{36}$$

$$Y_{14\text{гд}} (X_{37}) = 0,38X_{26} + 0,63X_{27} + 0,72X_{28} + 0,75X_{29} + 0,92X_{30} + 0,75X_{31} + 0,74X_{32} + 0,62X_{33} + 0,56X_{34} + 0,58X_{35} + 0,71X_{36}$$

Адекватность полученных уравнений была проверена по таким величинам, как относительная погрешность, коэффициент множественной корреляции, критерий Стьюдента и критерий Фишера (полученное расчетное значение критерия Фишера было больше теоретического критерия Фишера). Поэтому был сделан вывод об адекватности вышеприведённой математической модели (уравнения

4.210 – 4.216), что позволило определить существенное влияние входных и режимных параметров на ТП глянцеваания и сушки драже.

4.1.11. Структурно – параметрические и математические модели ТП производства ириса

Структурная схема основных стадий производства ириса представлена в 1 главе, разделе 1.2.10. «Анализ ТП производства ириса».

Исходя из данной структурной схемы первым процессом, который подлежит анализу является процесс приготовления рецептурной смеси.

Разработка СПММ 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 (для определения гранулометрического состава сахара – песка), град. 40 – 50;

X_2 - активная кислотность рН 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 2×10^{-2} Па·с до 28×10^{-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°C;

Выходные параметры:

Y_{1pc} (X_{15}) - температура рецептурной смеси на выходе, T, 45—55°C;

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.

На рисунке 4.59 показана СПМ ТП приготовления рецептурной смеси.

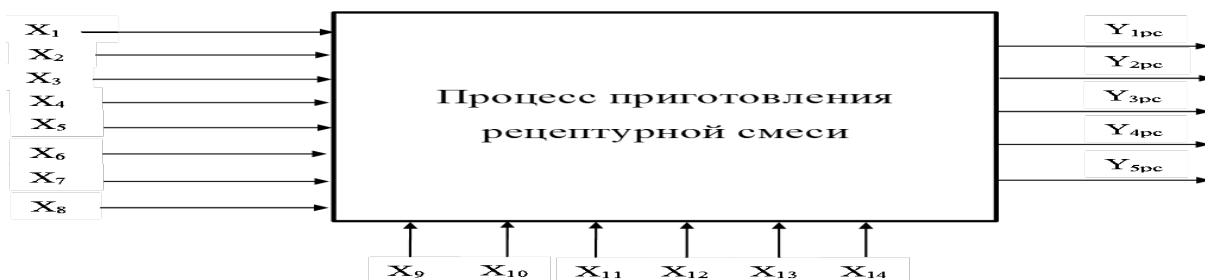


Рис. 4.69. СПМ ТП приготовления рецептурной смеси

ММ ТП приготовления рецептурной смеси представлена уравнениями 4.50):

$$Y_{1pc}(X_{15}) = 0,56X_1 + 0,37X_3 + 0,56X_4 + 0,57X_5 + 0,52X_6 + 0,58X_8 + 0,66X_9 + 0,62X_{10} + 0,91X_{11} + 0,45X_{12} + 0,56X_{13} + 0,88X_{14} \quad (4.50)$$

$$Y_{2pc}(X_{16}) = 0,56X_1 + 0,69X_3 + 0,77X_4 + 0,74X_5 + 0,67X_6 + 0,68X_8 + 0,65X_9 + 0,62X_{10} + 0,67X_{11} + 0,43X_{12} + 0,56X_{13} + 0,43X_{14}$$

$$Y_{3pc}(X_{17}) = 0,38X_1 + 0,51X_2 + 0,39X_3 + 0,76X_4 + 0,84X_5 + 0,52X_6 + 0,48X_7 + 0,56X_8 + 0,45X_9 + 0,31X_{10} + 0,47X_{11} + 0,51X_{12} + 0,43X_{13} + 0,52X_{14}$$

$$Y_{4pc}(X_{18}) = 0,51X_2 + 0,39X_3 + 0,36X_4 + 0,44X_5 + 0,56X_6 + 0,52X_7 + 0,66X_8 + 0,47X_9 + 0,41X_{10} + 0,64X_{11} + 0,58X_{13} + 0,57X_{14}$$

$$Y_{5pc}(X_{19}) = 0,42X_2 + 0,47X_3 + 0,36X_4 + 0,54X_5 + 0,55X_6 + 0,43X_7 + 0,63X_8 + 0,52X_9 + 0,53X_{10} + 0,72X_{11} + 0,58X_{13} + 0,73X_{14}$$

Разработка СПММ ТП приготовления ирисной массы – уваривание и охлаждение

Важным этапом производства ириса является ТП приготовления ирисной массы. Эффективность процесса приготовления массы зависит от показателей качества приготовленной рецептурной смеси, от температуры этой смеси.

Входные параметры:

X_{15} - температура рецептурной смеси на выходе, Т, 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_y , 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_o , °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 охлаждения, $T_{им}$ от 40 - 45 °С;

На основании полученных данных была спроектирована СПМ ТП приготовления ирисной массы, представленная на рисунке 4.60.



Рис. 4.60. СПМ процесса приготовления ирисной массы

Спроектирована математическая модель ТП приготовления ирисной массы

(уравнения 4.51):

$$Y_{1им} = 0,42X_{15} + 0,54X_{16} + 0,59X_{17} + 0,53X_{18} + 0,63X_{20} + 0,61X_{21} + 0,65X_{22} + 0,78X_{23} + 0,45X_{24} + 0,38X_{25} + 0,56X_{26} + 0,52X_{27} \quad (4.51)$$

$$Y_{2им} = 0,55X_{15} + 0,57X_{16} + 0,63X_{17} + 0,49X_{19} + 0,68X_{20} + 0,66X_{21} + 0,76X_{22} + 0,82X_{23} + 0,53X_{24} + 0,54X_{26} + 0,58X_{27}$$

$$Y_{3им} = 0,56X_{15} + 0,34X_{16} + 0,52X_{17} + 0,93X_{19} + 0,54X_{20} + 0,55X_{21} + 0,82X_{22} + 0,83X_{23} + 0,46X_{24} + 0,63X_{26} + 0,66X_{27}$$

$$Y_{4им} = 0,72X_{15} + 0,77X_{16} + 0,52X_{17} + 0,93X_{19} + 0,54X_{20} + 0,55X_{21} + 0,82X_{22} + 0,83X_{23} + 0,46X_{24} + 0,63X_{26} + 0,66X_{27}$$

$$Y_{5им} = 0,72X_{15} + 0,76X_{16} + 0,72X_{17} + 0,66X_{20} + 0,65X_{21} + 0,83X_{22} + 0,85X_{23} + 0,57X_{24} + 0,68X_{26} + 0,69X_{27}$$

$$Y_{6\text{гм}}=0,72X_{15}+0,67X_{16}+0,62X_{17}+0,64X_{20}+0,82X_{21} + 0,84X_{22} +0,83X_{23} \\ +0,56X_{24}+0,45X_{25} +0,83X_{26}+0,93X_{27}$$

$$Y_{7\text{гм}}=0,70X_{15}+0,65X_{16} +0,62X_{17}+0,64X_{20}+0,75X_{21} \\ + 0,78X_{22} +0,84X_{23} +0,55X_{24}+0,93X_{26}+0,96X_{27}$$

Разработка СПММ ТП формования и обработки ирисной массы

Эффективность процессов формования и обработки ирисной массы зависит от качества приготовленной ирисной смеси массы, 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:

$Y_{1\text{гн}}$ (X_{40}) – консистенция готового ириса, К;

$Y_{2\text{гн}}$ (X_{41}) –температура готового ириса, T, °С;

$Y_{3\text{гн}}$ (X_{42}) – цвет готового ириса, Ц;

$Y_{4\text{гн}}$ (X_{43}) – вкус готового ириса, В;

$Y_{5\text{гн}}$ (X_{44}) – запах готового ириса, З;

$Y_{6\text{гн}}$ (X_{45}) –форма готового ириса, Ф;

$Y_{7\text{гн}}$ (X_{46}) –состояние поверхности, СП.

На рисунке 4.61 показана СПМ ТП формования и обработки ирисной массы.



Рис. 4.61. СПМ процессов формования и обработки ирисной массы

Спроектирована математическая модель процесса формования и обработки присной массы (уравнения 4.52):

$$\begin{aligned}
 Y_{1\text{им}} &= -0,89X_{31} + 0,94X_{32} + 0,67X_{33} + 0,36X_{34} + 0,68X_{36} + 0,62X_{37} \\
 &+ 0,73X_{38} + 0,76X_{39} \\
 Y_{2\text{им}} &= -0,58X_{31} + 0,69X_{32} + 0,95X_{33} + 0,66X_{36} + 0,96X_{37} + 0,93X_{38} + 0,68X_{39} \\
 Y_{3\text{им}} &= 0,92X_{28} + 0,57X_{31} + 0,61X_{32} + 0,56X_{33} + 0,52X_{37} + 0,53X_{38} + 0,58X_{39} \\
 Y_{4\text{им}} &= 0,97X_{29} + 0,61X_{31} + 0,63X_{32} + 0,66X_{33} + 0,33X_{36} + 0,54X_{37} + 0,55X_{38} \\
 &+ 0,77X_{39} \\
 Y_{5\text{им}} &= 0,94X_{30} + 0,51X_{31} + 0,57X_{32} + 0,61X_{33} + 0,43X_{36} + 0,62X_{37} \\
 &+ 0,57X_{38} + 0,72X_{39} \\
 Y_{6\text{им}} &= 0,71X_{31} + 0,75X_{32} + 0,69X_{33} + 0,64X_{34} + 0,62X_{35} + 0,58X_{36} \\
 &+ 0,68X_{37} + 0,66X_{38} + 0,74X_{39} \\
 Y_{7\text{им}} &= 0,73X_{31} + 0,78X_{32} + 0,72X_{33} + 0,69X_{34} + 0,65X_{35} + 0,63X_{36} \\
 &+ 0,71X_{37} + 0,68X_{38} + 0,82X_{39}
 \end{aligned} \tag{4.52}$$

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 4.2), 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.

На основе структурно-параметрических матриц сопоставимых взаимосвязей $C_{i,j}$, где $i, j = 1, \dots, n$, и вектора контролируемых отклонений показателей состояния Δx_i формируется ситуационная модель [81] технологического процесса (ситуационная матрица):

$$\left\| \begin{array}{cccc} \Delta x_1, & c_{12}\Delta x_2, & \dots, & c_{1n}\Delta x_n \\ c_{21}\Delta x_1, & \Delta x_2, & \dots, & c_{2n}\Delta x_n \\ \dots, & \dots, & \dots, & \dots \\ c_{n1}\Delta x_1, & c_{n2}\Delta x_2, & \dots, & \Delta x_n \end{array} \right\| \quad (4.53)$$

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

x_i, x_j^0 – фактическое и эталонное значение i -го параметра;

Δx_i^0 – предельно допустимое отклонение от нормы.

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.

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 СМ ТП производства кондитерских изделий.

Подробно проведенные исследования по разработке ситуационных моделей ТП кондитерских производств описаны и проанализированы в наших статьях [25, 61].

4.2.2. Анализ ТП производства помадных конфет с использованием матрицы экспертных оценок влияния входных параметров на показатели качества этих конфет на всех стадиях производства

В результате анализа представленных в 1 главе исследований производства помадных конфет (п.1.2.2) получена оценка влияния входных параметров на показатели качества этих конфет на всех стадиях производства. Представлены результаты опроса экспертов на информативность параметров, оказывающих наибольшее влияние на показатели качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции на всех стадиях ТП производства. Символом (•) обозначено наличие по мнению экспертов функциональной связи между входными и выходными переменными.

Таблица 4.1

Матрица экспертных оценок наличия связей между параметрами

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
X_1	1							
X_2		1						
X_3			1					
X_4	•	•		1				
X_5		•			1			
X_6			•	•		1		
X_7		•			•		1	
X_8			•					1

Где: $X_1 (f)$ – $W_{сп}$ (13,5-14,5%)

$X_2 (t)$ – температура сахарного песка (25-40°C)

$X_3 (ГС)$ – гранулометрический состав с.п. (20-90 мк)

$X_4 (\varphi)$ – относительная влажность воздуха (20-90%)

$X_5 (P)$ – расход воздуха (при сепарировании с.п.) (1200-1500 м³/Т)

$X_6 (п)$ – частота колебаний сита при сепарировании с.п. (2,5-5 об/мин)

$Y_{1\text{сп}} (X_7)$ – выходной параметр (вкус).

$Y_{2\text{сп}} (X_8)$ – выходной параметр (цвет).

Таблица 4.2

Матрица экспертных оценок связей между параметрами
на стадии *приготовления сахарного сиропа*

	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}	X_{16}	X_{17}	X_{18}	X_{19}
X_9	1										
X_{10}		1									
X_{11}			1								
X_{12}				1							
X_{13}		•	•		1						
X_{14}					•	1					
X_{15}	•						1				
X_{16}			•	•				1			
X_{17}			•			•			1		
X_{18}					•		•	•		1	
X_{19}				•			•				1

где: X_9 – угол естественного откоса (для определения гранулометрического состава сахара – песка), град. 40 – 50;

X_{10} – рН 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, 90—95°C;

X_{16} – давление греющего пара в колонке, Р 0,34—0,4 Мпа;

$Y_{1\text{сс}} (X_{17})$ – цвет сахарного сиропа ;

$Y_{2\text{сс}} (X_{18})$ – качество готового сахарного сиропа (величина кристаллов сахара в сахарном сиропе) (от 50 до 90 мкм);

$Y_{3\text{сс}} (X_{19})$ – массовая доля сухих веществ, W от 78 до 80 %.

Таблица 4.3

Матрица экспертных оценок связей между параметрами
на стадии *приготовления помадного сиропа*

	X_{20}	X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_{24}	X_{25}	X_{26}	X_{27}	X_{28}
X_{20}	1								
X_{21}		1							
X_{22}			1						
X_{23}				1					
X_{24}		•			1				
X_{25}	•	•				1			
X_{26}	•	•			•		1		
X_{27}			•	•			•	1	
X_{28}						•	•		1

- где: X_{20} – массовая доля сухих веществ, W от 78 до 80 %;
 X_{21} – температура сахарного сиропа T от 90—95°C;
 X_{22} – массовая доля сухих веществ C от 74 до 80%;
 X_{23} – вязкость сахарного сиропа, μ от 13 до 20 Пас;
 X_{24} – давление греющего пара в рубашке поматоварочной станции P_1 от 392 до 499 кПа;
 X_{25} – давление внутри поматоварочной станции P_2 от 98 до 105 кПа;
 X_{26} – время уваривания, τ 30—40 мин.;
 $Y_{2\text{пс}}$ (X_{27}) – цвет;
 $Y_{1\text{пс}}$ (X_{28}) – вкус.

Таблица 4.4

Матрица экспертных оценок связей между параметрами
на стадии *сбивания помадной массы*

	X_{29}	X_{30}	X_{31}	X_{32}	X_{33}	X_{34}	X_{35}	X_{36}	X_{37}	X_{38}	X_{39}	X_{40}	X_{41}	X_{42}
X_{29}	1													
X_{30}		1												
X_{31}			1											
X_{32}		•	•	1										
X_{33}	•	•		•	1									
X_{34}	•					1								
X_{35}					•	•	1							
X_{36}								1						
X_{37}			•	•		•	•		1					
X_{38}	•				•					1				
X_{39}					•		•	•			1			
X_{40}		•				•		•				1		
X_{41}			•						•				1	
X_{42}				•		•								1

где: X_{29} – t сиропа (п.с.), подаваемого на сбивание от 105 до 109 °С;

X_{30} – вязкость подаваемого на сбивание п.с., η (от 9,0 Пас до 16 Пас);

X_{31} – массовая доля влаги подаваемого на сбивание п.с. W (от 15% до 19%);

X_{32} – плотность п.с. ρ (от 730 до 770 кг/м³);

X_{33} – давление пара перед началом сбивания P (от 98 кПа до 117 кПа);

X_{34} – время сбивания τ (от 7 до 10 минут)

X_{35} – температура процесса сбивания $T_{\text{сб}}$. от 90°C до 100 °С;

X_{36} – температура воды в поматосбивальной машине $T_{\text{х.в}}$ от 8°C до 12°C;

X_{37} – частота вращения сбивальных лопастей n (от 0,35 1/с до 0,65 1/с);

$Y_{1\text{сб}}$ (X_{38}) – влажность готовой помадной массы, W от 14 до 16 %; ;

$Y_{2\text{сб}}$ (X_{39}) – температура на выходе помадной помады, T от 90—95°C;

$Y_{3\text{сб}}$ (X_{40}) – вязкость полученной помадной массы, μ от 12 до 16 Пас;

$Y_{4\text{сб}}$ (X_{41}) – цвет помадной массы после сбивания

$Y_{5\text{сб}}$ (X_{42}) – величина кристаллов сахара в помадной массе (от 30 до 70 мкм).

Таблица 4.5

Матрица экспертных оценок связей между параметрами
на стадии *приготовления конфетной массы*

	X ₄₃	X ₄₄	X ₄₅	X ₄₆	X ₄₇	X ₄₈	X ₄₉	X ₅₀	X ₅₁
X ₄₃	1								
X ₄₄		1							
X ₄₅			1						
X ₄₆		•	•	1					
X ₄₇		•		•	1				
X ₄₈		•		•		1			
X ₄₉	•				•		1		
X ₅₀	•				•			1	
X ₅₁			•	•					1

где: X₄₃ - объем поступающей помадной массы 7,5-8 т/час

X₄₄ - температура поступающей помадной массы 75-80 °С

X₄₅ - количество оборотов мешалки в темперирующей машине 50-60 в минуту

X₄₆ - температура воды в рубашке темперирующей машины 40-50 °С

X₄₇ - влажность поступающей взбитой помады 60-70 %

Y_{3км} (X₅₀) – цвет помадной массы после сбивания;

Y_{4км} (X₅₁) – величина кристаллов сахара в помадной массе (от 30 до 70 мкм).

Таблица 4.6

Матрица экспертных оценок связей между параметрами
на стадии *формования помадных конфет*

	X ₅₂	X ₅₃	X ₅₄	X ₅₅	X ₅₆	X ₅₇	X ₅₈
X ₅₂	1						
X ₅₃		1					
X ₅₄			1				
X ₅₅	•			1			
X ₅₆				•	1		
X ₅₇			•			1	
X ₅₈		•					1

где: X₅₂- скорость выхода массы из матричного отверстия, Vm 9 - 15 мм/с;

X₅₃–реологические свойства, РСМ 4x10⁻² - 32x10⁻²Пас;

X₅₅- V транспортерной ленты может меняться от 20 до 24,5 мм/с;

Y_{фм} (X₅₆)- высота конфетного жгута на выходе, h (от 0,8 до 1,2 мм);

Y_{2фм} (X₅₇) – изменение размеров кристаллов сахара в конфетных массах, S от 30 до 70 мкм;

Y_{1фм} (X₅₈) – цвет полученных конфет, M.

Результаты 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. Полученная СП матричная модель производства ПГК дает возможность проследить причинно - следственное влияние параметров друг на друга и на показатели качества продукта с формализацией алгоритмов диагностики и прогнозирования состояний ТП, а также качества готовых изделий.

4.2.4. 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.1.2.4) были отобраны наиболее информативные параметры состояния ТП производства халвы и составлены матрицы взаимосвязей между ними для каждой стадии этого производства.

В таблицах 4.50 - 4.55 в виде матриц экспертных оценок представлены результаты опроса экспертов на информативность параметров, оказывающих наибольшее влияние на показатели качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции 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 наших статьях [16-26].

Результаты опроса экспертов-технологов по оценке влияния входных параметров на этап подготовки сырья к производству халвы

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°C);
- гранулометрический состав семян подсолнечника X_3 (ГС) (20-90 мк);
- относительная влажность воздуха X_4 (φ) (20-90%);
- расход воздуха при сепарировании X_5 (P) (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 4.50 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 4.8

Матрица экспертных оценок связей между параметрами на стадии *подготовки сырья к производству халвы*

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
X_1	1				•	•	•	•
X_2	•	1			•	•	•	•
X_3			1		•	•	•	•
X_4	•	•		1	•	•	•	•
X_5	•				1	•	•	•
X_6	•				•	1	•	
X_7	•				•	•	1	•
X_8	•		•		•	•	•	1

Результаты опроса экспертов-технологов по оценке влияния входных параметров на процессы приготовления сахарного сиропа

Основные входные и выходные параметры процесса:

- угол естественного откоса (для определения гранулометрического состава сахара – песка), X_9 , град. 40 – 50;
- активная кислотность рН 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} , 90—95°C;
- давление греющего пара в колонке, X_{16} , P 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 4.9 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 4.9

Матрица экспертных оценок связей между параметрами на стадии процесса приготовления сахарного сиропа

	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}	X_{16}	X_{17}	X_{18}	X_{19}
X_9	1										
X_{10}		1									
X_{11}			1								
X_{12}				1							
X_{13}					1						
X_{14}		•	•			1					
X_{15}	•						1				
X_{16}			•	•				1			
X_{17}			•			•			1		
X_{18}					•		•	•		1	
X_{19}				•			•				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°C;

- массовая доля сухих веществ X_{22} , С от 74 до 80%;
- вязкость сахарного сиропа, X_{23} , μ 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 4.52 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 4.10

Матрица экспертных оценок связей между параметрами на стадии процесса приготовления карамельного сиропа

	X_{20}	X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_{24}	X_{25}	X_{26}	X_{27}	X_{28}
X_{20}	1								
X_{21}		1							
X_{22}			1						
X_{23}				1					
X_{24}					1				
X_{25}		●	●			1			
X_{26}	●						1		
X_{27}			●	●				1	
X_{28}			●			●			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/м³);
- давление пара перед началом сбивания X_{33} , P (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°C;
- вязкость полученного карамельного сиропа $Y_{10} (X_{40}), \mu$ 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 4.53 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 4.11

Матрица экспертных оценок связей между параметрами процессов уваривания и сбивания карамельной массы

	X_{29}	X_{30}	X_{31}	X_{32}	X_{33}	X_{34}	X_{35}	X_{36}	X_{37}	X_{38}	X_{39}	X_{40}	X_{41}	X_{42}
X_{29}	1													
X_{30}		1												
X_{31}			1											
X_{32}		•	•	1										
X_{33}	•	•		•	1									
X_{34}	•					1								
X_{35}					•	•	1							
X_{36}								1						
X_{37}			•	•		•	•		1					
X_{38}					•					1				
X_{39}					•	•	•				1			
X_{40}		•				•	•					1		
X_{41}			•										1	
X_{42}				•		•								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 °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 °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 4.12 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 4.12

Матрица экспертных оценок связей между параметрами процесса вымешивания халвы

	X_{43}	X_{44}	X_{45}	X_{46}	X_{47}	X_{48}	X_{49}	X_{50}	X_{51}
X_{43}	1								
X_{44}		1							
X_{45}			1						
X_{46}		•	•	1					
X_{47}		•		•	1				
X_{48}		•		•		1			
X_{49}	•				•		1		
X_{50}					•			1	
X_{51}			•	•					1

Результаты опроса экспертов-технологов по оценке влияния входных параметров на процессы формирования халвы

Основные входные и выходные параметры процесса:

- скорость выхода массы из матричного отверстия X_{52} , V_m (от 9 до 15 мм/с);
- реологические свойства халвы X_{53} , μ (от 4×10^{-2} Пас до 32×10^{-2} Пас);
- температура халвы, поступающей на формование X_{54} , T (от 32 C^0 до 42 C^0);
- скорость транспортерной ленты при проведении эксперимента была постоянной X_{55} , $V_{ТЛ}$ - 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 4.55 показаны результаты опроса экспертов-технологов по оценке влияния входных параметров на процессы формирования халвы. В ней символом (•) обозначено наличие функциональной связи между входными и выходными переменными.

Таблица 4.13

Матрица экспертных оценок связей между параметрами процесса

формования халвы

	X ₅₂	X ₅₃	X ₅₄	X ₅₅	X ₅₆	X ₅₇	X ₅₈
X ₅₂	1						
X ₅₃		1					
X ₅₄			1				
X ₅₅	•			1			
X ₅₆				•	1		
X ₅₇			•			1	
X ₅₈		•					1

Таким образом, на основе опроса технологов- экспертов, были получены данные для разработки ситуационной модели ТП производства халвы.

4.2.5. Ситуационное моделирование ТП производства халвы

Данные экспериментального исследования ТП производства халвы (раздел 4.1.3) были сравнены с данными, полученными в результате опроса экспертов. В таблице 4.14 представлена разработанная матрица экспертных оценок наличия связей между параметрами на отдельных участках производства производства халвы, где числовые значения, записанные обычным курсивом показывают характер связей («+» - показывают нахождение новых связей, а символ (∅) означает опровержение оценок эксперта).

Таблица 4.14

Ситуационная модель ТП производства халвы

Основные стадии ТП производства халвы	Выходные параметры	Подготовка сырья к производству		Приготовление сахарного сиропа			Приготовление карамельного сиропа		Уваривание и сбивание карамельной массы				Вымешивание халвы				Формование халвы			
		Y ₁ (X ₁)	Y ₂ (X ₂)	Y ₃ (X ₁₇)	Y ₄ (X ₁₂)	Y ₅ (X ₁₉)	Y ₆ (X ₂₇)	Y ₇ (X ₂₃)	Y ₈ (X ₃₃)	Y ₉ (X ₃₉)	Y ₁₀ (X ₄₀)	Y ₁₁ (X ₄₁)	Y ₁₂ (X ₄₂)	Y ₁₃ (X ₄₃)	Y ₁₄ (X ₄₉)	Y ₁₅ (X ₅₀)	Y ₁₆ (X ₅₁)	Y ₁₇ (X ₅₆)	Y ₁₈ (X ₅₇)	Y ₁₉ (X ₅₈)
I. Подготовка сырья к производству	Y ₁ (X ₁) - % извл. прим.	1	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙													
	Y ₂ (X ₂) вн. вид	∅	1	⊙	⊙	⊙	⊕													
II. Приготовление сахарного сиропа	Y ₃ (X ₁₇) цвет	⊙	∅	1	⊕	⊙	⊕	⊕												
	Y ₄ (X ₁₂) вкус			∅	1	⊙	⊕	⊕												
	Y ₅ (X ₁₉) влажность	⊕	⊙	⊕	⊙	1	⊕	⊕	⊙	⊙										
III. Приготовление карамельного сиропа	Y ₆ (X ₂₇) цвет	⊙	⊕	⊕	⊙	⊙	1	∅	⊕	⊕										
	Y ₇ (X ₂₃) вкус	⊙	⊙	⊕	⊙	⊙	⊕	1	⊙		⊕									
IV. Уваривание и сбивание карамельной массы	Y ₈ (X ₃₃) влажность кар. м.	⊙	⊕	⊕	⊙	⊕	∅	⊕	1	⊙	⊙									
	Y ₉ (X ₃₉) T						∅	⊙	⊙	1	∅	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
	Y ₁₀ (X ₄₀) вязкость							⊙	∅	⊕	1	⊙	⊙	∅	⊙	⊙				
	Y ₁₁ (X ₄₁) цвет							⊕	⊕	⊙	⊙	1	⊕	∅	⊙	⊙				
V. Вымешивание халвы	Y ₁₂ (X ₄₂) вкус	⊙	⊙	⊕	⊙	⊕	⊕	⊕	⊕	⊙		∅	1	⊙	⊕	∅				
	Y ₁₃ (X ₄₃) температура	⊙	⊕	⊕	⊙	⊙	⊕	⊙	⊕	⊙		⊕	⊙	1	⊙	⊕	⊙			
	Y ₁₄ (X ₄₉) влажность	⊕	⊙	⊙	⊙	⊕	⊕		⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	1	⊕	⊕				
	Y ₁₅ (X ₅₀) цвет	⊙	⊙	∅	⊙	⊕	⊕	⊙				⊕	∅	⊕	1	⊙	⊕			
VI. Формование халвы	Y ₁₆ (X ₅₁) вкус	⊙	⊙	⊕	⊙	∅	⊕							⊙	⊕	1	⊕	∅		
	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.

4.2.6. Ситуационное моделирование ТП производства шоколада

Полученные данные экспериментального исследования ТП производства шоколада (4 глава, раздел 4.1, п. 4.1.4) были сравнены с данными, полученными в результате опроса экспертов. В таблице 4.15 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, η (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, Т, °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, Т, °С;

$Y_{9кб}$ (X_{34}) - внешний вид какао бобов на выходе из аппарата охлаждения (размер, цвет, состояние поверхности, целостность), (Вн.В).

Таблица 4.15

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

Основные стадии ТП производства шоколада	Показатели качества шоколада																											
	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																						
III. ТП обжарки к.б.	Y _{6 кб}	⊙	⊕		⊙	⊙	1																					
	Y _{7 кб}	⊙	⊙	⊕	⊕	⊙	⊙	1																				
IV ТП охлаждения к.б.	Y _{8 кб}	⊙	∅		⊙	⊙	⊙	∅	1																			
	Y _{9 кб}	⊕	⊙	⊕	∅	⊙	⊕	⊙	∅	1																		
V ТП дробления к.б.	Y _{10 кб}	⊙	⊕	⊕	⊙	∅	⊙	⊕	⊙	∅	1																	
	Y _{11 кб}	⊕	⊙	⊙	⊕	⊙	⊕	⊙	⊕	⊙	∅	1																
VI ТП получения какао тертого	Y _{12 кт}	⊙	∅	⊙	⊕	⊙	⊙	∅	⊙	∅	⊙	⊙	1															
	Y _{13 кт}	∅	⊙	⊕	∅	⊙	∅	⊙	∅	⊙	⊙	⊙	⊙	1														
VII ТП получения к.масла	Y _{14 км}		∅	⊙	∅	⊙	∅	⊙	∅	⊙	⊙	⊕	⊙	⊙	1													
VIII. ТП смешивания	Y _{15с}	⊙	⊙	⊙	⊕	⊙		⊕		⊙	⊕	⊙	⊙	⊙	⊙	1												
	Y _{16с}	⊙	⊙	∅	⊕	⊙		⊕		⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	1											
	Y _{17 см}	⊙	⊕	⊕	⊙	⊙		⊙		⊙	⊙	⊕	⊕	⊙	⊙	⊕	⊙	1										
XI. ТП разводки, гомогенизации и конширования ш. м.	Y _{18 см}	⊙	⊙	⊙	⊙	∅		∅		⊙	⊕	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	1									
	Y _{19 см}	∅	⊙	∅		⊕					⊕	⊙	⊙	⊕	⊙	⊙	⊕	⊙	⊙	1								
	Y _{20 см}	∅	⊕	∅		⊕					⊙	⊕	⊕	⊕		⊙	⊕			1								
X. ТП темперирования ш.м.	Y _{21 ш}	⊕	⊙	⊙	⊕	⊙		⊙		⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	∅		1						
XI. ТП формования плиток шоколада	Y _{22 ш}	⊕	⊙	∅	⊕	⊕		⊙		⊙	∅	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	1				
	Y _{23 ш}	∅	⊕	∅		∅		∅				∅	⊕		⊙	⊕		⊙	⊕		⊙	∅	∅	1				
	Y _{24 ш}	⊙	⊕	⊙	⊙	⊙		⊙		⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙		⊙		⊙	⊙	1			
	Y _{25 ш}	⊙	⊙	⊕	⊕							⊙	⊙	⊕	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙		⊙					1		
	Y _{26 ш}	⊙	⊙	⊙	⊙			⊙		⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙		⊙	⊕	⊕	⊙	⊙	⊙	1	

5. ТП дробления какао бобов с получением какао крупки и какаофеллы

Y_{10кк} (X₄₁) - выход какао-крупки (Q) не менее 87% обжаренных какао-бобов/

Y_{11кк} (X₄₂) - выходной параметр – размер кусочков какао бобов (v) 0,75 до 8 мм.

6. ТП размола какао крупки с получением какао тертого

Y_{12кт} (X₅₀) – вязкость какао тертого ($\mu_{кт}$);

Y_{13кт} (X₅₁) – дисперсность какао тертого D_{кт}.

7. ТП прессования какао тертого с получением какао масла

$Y_{14\text{км}}$ (X_{57}) – количество отжатого какао масла Q , кг.

8. ТП смешивания какао тертого с какао маслом и сахарной пудрой

$Y_{15\text{см.}}$ (X_{67}) – вязкость полученной смеси, $\mu_{\text{см}}$, Па·с

$Y_{16\text{см.}}$ (X_{68}) – массовая доля жира, $Ж$, % (24 – 30%);

$Y_{17\text{см.}}$ (X_{69}) – дисперсность полученной смеси, $D_{\text{см}}$, мкм (не более 35 – 20 мкм).

9. ТП разводки, гомогенизации и конширования шоколадной массы

$Y_{18\text{шм.}}$ (X_{76}) – вязкость полученной шоколадной массы, $\mu_{\text{см}}$, Па·с;

$Y_{19\text{шм.}}$ (X_{77}) – вкус полученной шоколадной массы, B ;

$Y_{20\text{шм.}}$ (X_{78}) – аромат полученной шоколадной массы, Z .

10. ТП темперирования шоколадной массы

$Y_{21\text{тшм}}$ (X_{82}) – конечная вязкость полученной шоколадной массы при температуре 32 °С, $\mu_{\text{см}}$, Па·с.

11 ТП формования плиток шоколада

$Y_{22\text{ш}}$ (X_{87}) – вкус, B

$Y_{23\text{ш}}$ (X_{88}) – запах, Z

$Y_{24\text{ш}}$ (X_{89}) – внешний вид, $BнB$

$Y_{25\text{ш}}$ (X_{90}) – форма, Φ

$Y_{26\text{ш}}$ (X_{91}) – консистенция, K

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 4.57) 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 сбивных конфет

ТП производства сбивных конфет» (4 глава, раздел 4.1, п. 4.1.5) были сравнены с данными, полученными в результате опроса экспертов.

В таблице 4.16 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 4.16

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

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

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 %.
- $Y_{5c} (X_{17})$ – концентрация патоки в готовом сиропе, W от 5 до 25 %.

2. ТП приготовления сбивной конфетной массы

- $Y_{6cm} (X_{24})$ - цвет сбивной массы, Ц;
- $Y_{7cm} (X_{25})$ - вкус сбивной массы, В;
- $Y_{8cm} (X_{26})$ - запах сбивной массы, З;
- $Y_{9cm} (X_{27})$ - массовая доля сухих веществ в сбивной массе, W от 78 до 80 %.

3. ТП формирования сбивного слоя конфет

- $Y_{10ф} (X_{32})$ - высота жгута сбивного слоя конфет;
- $Y_{11ф} (X_{33})$ - вкус сбивного слоя конфет после формирования, В;
- $Y_{12ф} (X_{34})$ - внешний вид сбивного слоя конфет после формирования, ВнВ;
- $Y_{13ф} (X_{35})$ - цвет сбивного слоя конфет после формирования, Ц;
- $Y_{14ф} (X_{36})$ – консистенция сбивного слоя конфет после формирования, К;

4. ТП охлаждения и выстойки корпусов сбивных конфет

- $Y_{15ох} (X_{40})$ – температура корпусов сбивных конфет на выходе из холодильного тоннеля, T, °C;
- $Y_{16ох} (X_{41})$ - 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 4.17) дает возможность проследить причинно - следственные влияния параметров друг на друга и на показатели качества готовых сбивных конфет с формализацией алгоритмов диагностики и

В таблице обозначены следующие основные этапы приготовления мармелада:

1. ТП приготовления ПСПС

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 %.

2. ТП приготовления мармеладной массы

Выходные параметры:

Y_{6MM} (X_{24}) - цвет мармеладной массы, Ц;

Y_{7MM} (X_{25}) - вкус мармеладной массы, В;

Y_{8MM} (X_{26}) - запах мармеладной массы а, З;

Y_{9MM} (X_{27}) - массовая доля сухих веществ в сбитой массе, W (от 78 до 80 %).

Y_{10MM} (X_{28}) - вязкость мармеладной массы, η ;

Y_{11MM} (X_{29}) - pH мармеладной массы на выходе, (3.1 – 3,2);

Y_{12MM} (X_{30}) – температура мармеладной массы на выходе, T_{MM} (от 106 - 107 °С);

Y_{13MM} (X_{31}) – W, (30—32 %).

3. ТП темперирования мармеладной массы

Y_{14T} (X_{35}) – конечная вязкость мармеладной массы, μ_{MM} , Па·с.

Y_{15T} (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 4.59) 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 карамели

Полученные данные экспериментального исследования ТП производства карамели были сравнены с данными, полученными в результате опроса экспертов. В таблице 4.18 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 4.18

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

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

В таблице обозначены следующие основные этапы приготовления карамели:

1. ТП приготовления сахаро-паточного сиропа

- $Y_{1c} (X_{13})$ - 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 %.

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 сбивных конфет 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 4.60) 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.

4.2.10. Ситуационное моделирование ТП производства зефира

Полученные данные экспериментального исследования ТП производства зефира были сравнены с данными, полученными в результате опроса экспертов. В таблице 4.19 представлена результаты, где символом (●) обозначено наличие функциональной связи между входными и выходными переменными; знак «+» - показывает нахождение новых связей, а символ (∅) означает опровержение оценок эксперта.

Таблица 4.19

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

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

В таблице обозначены следующие основные этапы приготовления зефира:

1. ТП приготовления агаро- сахаро- паточного сиропа

Y_{1c} (X₁₁) - цвет готового сиропа, Ц;

Y_{2c} (X₁₂) - вкус готового сиропа, В;

Y_{3c} (X₁₃) - запах готового сиропа, З;

Y_{4c} (X₁₄) - массовая доля сухих веществ в готовом сиропе, W от 84,5 до 85 %.

Y_{5c} (X₁₅) – концентрация патоки в готовом сиропе, W от 5 до 25 %.

2. ТП приготовления зефирной массы

Y_{63M} (X_{24}) - цвет сбивной зефирной массы, Ц;

Y_{73M} (X_{25}) - вкус сбивной зефирной массы, В;

Y_{83M} (X_{26}) - запах сбивной зефирной массы, З;

Y_{93M} (X_{27}) - массовая доля сухих веществ в сбивной массе, W от 78 до 80 %;

Y_{103M} (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, Т, °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 4.61) 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.

4.2.11. Ситуационное моделирование ТП производства козинак

В таблице 4.20 представлены данные сравнения экспериментальных исследований 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 4.62) 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 4.20

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

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

Y_{5w} (X_{19}) - W от 78 до 80 %.

3. ТП приготовления карамельного сиропа

$Y_{6кc}$ (X_{27}) - цвет карамельного сиропа, Ц;

$Y_{7кc}$ (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°C;

$Y_{9мк}$ (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, %.

4.2.12. Ситуационное моделирование ТП производства драже

В таблице 4.21 представлены данные сравнения экспериментальных исследований ТП производства драже 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 (итоговая таблица 4.63) 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 4.21

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

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

1. ТП приготовления сахаро-паточного сиропа (поливочного сиропа для накатки)

Y_{1с} (X₁₃) - цвет готового сиропа, Ц;

Y_{2с} (X₁₄) - вкус готового сиропа, В;

Y_{3с} (X₁₅) - запах готового сиропа, З;

Y_{4с} (X₁₆) - массовая доля сухих веществ в готовом сиропе, W от 78 до 80 %.

Y_{5с} (X₁₇) – влажность готового поливочного сиропа содержит, W, 17 - 20 %.

2. ТП накатки корпусов драже

Y_{6нд} (X₂₅) – объем накатки к массе корпуса драже, 10 – 12%;

Y_{7нд} (X₂₆) – объем готового полуфабриката, V, мм³.

3. ТП глянцеования и сушки драже

$Y_{8гд}$ (X_{37}) – размеры готового драже, V , мм³;

$Y_{9гд}$ (X_{38}) - содержание влаги в драже, W , 0,3 – 5,0 %;

$Y_{10гд}$ (X_{39}) – форма готового драже, Φ ;

$Y_{11гд}$ (X_{40}) – вкус готового драже, B ;

$Y_{12гд}$ (X_{41}) – аромат готового драже, Z ;

$Y_{13гд}$ (X_{42}) – цвет готового драже, C ;

$Y_{14гд}$ (X_{43}) – состояние поверхности, контроль глянца

4.2.13. Ситуационное моделирование ТП производства ириса

В таблице 4.22 представлены данные сравнения экспериментальных исследований ТП производства ириса с результатами опроса экспертов.

Таблица 4.22

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																
	$Y_{4с}$	⊙	⊖	⊙	1															
II. ТП приготовления ирисной массы – уваривание и охлаждение	$Y_{6км}$	⊙	⊕	⊙	⊙		1													
	$Y_{7км}$	⊙	⊙	⊕				1												
	$Y_{8км}$	⊙	⊖	⊖		⊙			1											
	$Y_{9км}$	⊕	⊙	⊕	⊖	⊙	⊕	⊙	⊙	1										
	$Y_{10км}$	⊙	⊕	⊕	⊙	⊙	⊙	⊕	⊙	⊙	1									
	$Y_{11км}$	⊙	⊙	⊙	⊕	⊙	⊕	⊙	⊕	⊙	⊙	1								
III. ТП формования и обработки ирисной массы	$Y_{12км}$	⊙	⊙	⊙	⊕	⊙	⊙	⊕	⊙	⊙	⊙	1								
	$Y_{13гк}$	⊙	⊙	⊕	⊙	⊙	⊙	⊙	⊖	⊙	⊙	⊙	⊙	1						
	$Y_{14гк}$	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊕	⊙	⊙	⊕	⊙	⊙	1					
	$Y_{15гк}$	⊙	⊕	⊙	⊙		⊙		⊕	⊕	⊙	⊕	⊙	⊙	⊙	1				
	$Y_{16гк}$	⊙	⊕	⊙				⊙	⊖	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊕	1			
	$Y_{17гк}$	⊙	⊕	⊕		⊙			⊙		⊙	⊕	⊕	⊙	⊙			1		
$Y_{18гк}$	⊕	⊙	⊙					⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊕	1		
$Y_{19гк}$	⊙	⊙	⊙	⊖		⊖		⊙	⊙	⊕	⊙	⊙	⊙	⊙			⊙	⊙	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 (итоговая таблица 4.64) 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.

В таблице обозначены следующие основные этапы приготовления ириса:

1. ТП приготовления рецептурной смеси

Y_{1pc} (X_{15}) - температура рецептурной смеси на выходе, Т, 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.

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 охлаждения, $T_{им}$ 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, Т, °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 автоматизированной системы управления качеством кондитерской продукции в процессе ее производства.

В результате проведенных во II 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 [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 и др.] показал, что наиболее эффективной системой для мультиагентного имитационного моделирования производства кондитерской продукции является ПО AnyLogic.

Как было показано в I 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 эффективность изготовления исследуемой продукции. Этапы ТП производства 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 халвы и мармелада.

4.3.2. Мультиагентная имитационная модель процесса производства халвы с использованием ПО AnyLogic

В результате проведенных во второй 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 подсолнечной халвы с возможностью прогнозирования и идентификации этого процесса [25]. Данный тип моделирования необходим для проведения экспериментов, направленных на совершенствование исследуемого производственного процесса и его виртуального тестирования.

Как было показано в 1 главе, раздел 1.2., п. 1.2.4, процесс производства халвы содержит множество контролируемых и регулируемых параметров, необходимых для получения продукции высокого качества. 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.

Мультиагентное имитационное моделирование процесса производства халвы с использованием ПО AnyLogic позволяет создавать динамические мо-

дели с визуальным отображением исследуемых процессов. Для построения имитационной модели процесса производства халвы требуется знание основных этапов производства, влияющих на эффективность изготовления исследуемой продукции. Этапы технологического процесса производства халвы были представлены в 1 главе. На основании имеющихся данных была разработана имитационная модель процесса производства халвы, представленная на рисунке 4.62.

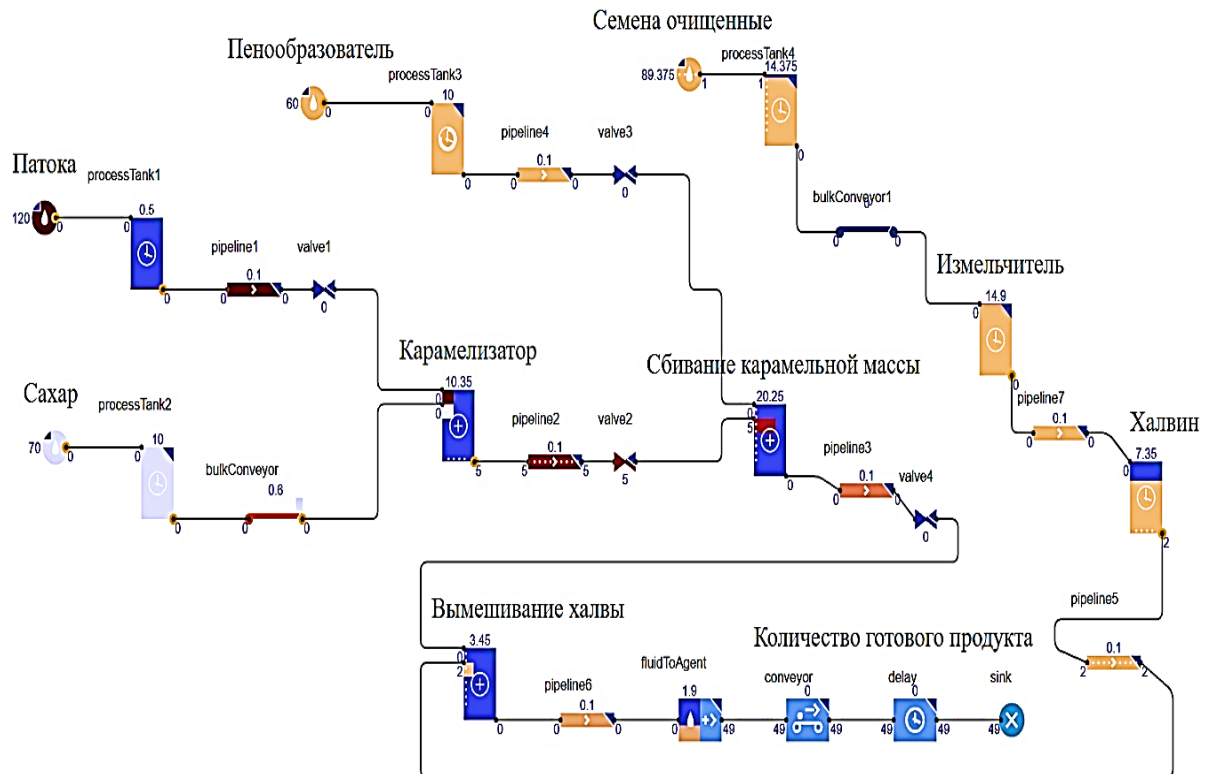


Рисунок 4.62. Имитационная модель процесса производства халвы

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, очищенные семена подсолнечника.

Объект *processTank*, накапливает вещество до уровня вместимости, опционально задерживает (к примеру, обрабатывает) его определенное время, после чего выпускает эту массу.

В модели процесса производства халвы этот объект (*processTank 1*, *processTank 2*, *processTank 3*, *processTank 4*) играет роль рецептурного сборника сырья.

Объект *Bulk Conveyor* является имитацией конвейера, предназначенного для транспортировки веществ. В модели 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 формирования 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 4.73 показана разработанная модель производства халвы в виде двумерной графики.

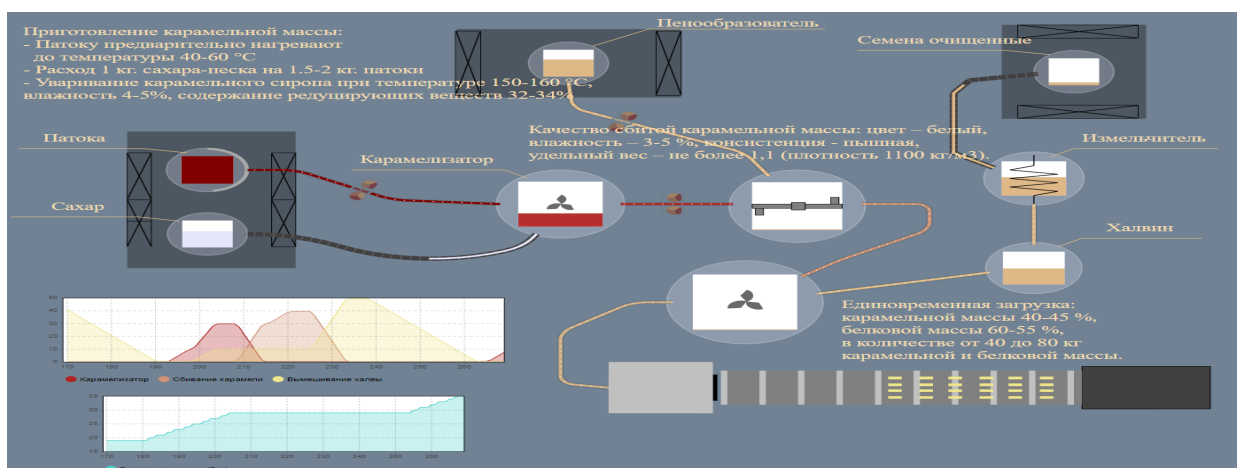


Рисунок 4.73. Модель производства халвы в формате двумерной графики

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. Верхний временной график отражает информацию о состоянии карамелизатора, сбивального варочного котла и процесса вымешивания халвы. Нижний график показывает количество произведенного товара за единицу времени. Изначально патоку предварительно нагревают до 40-60 °С, 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 °С, 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 °С, а также в соответствии с рецептурой. Все добавки, полагающиеся по рецептуре, вводятся в растертую массу. Температура растертой массы должна быть 40-45 °С. 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 °С. Второй замес продолжается обычно 3-4 минуты. Температура второго замеса 65-70 °С. После второго замеса массу охлаждают до температуры 60-65 °С

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 °С.

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 автоматизированной системы 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. Кроме того, возможно также получить рекомендации по актуализации параметров, направленных на оптимизацию производственного процесса.

Полученные результаты моделирования процесса производства халвы могут быть использованы также как основа для анализа актуальности подобранного технологического оборудования, оптимизации технологических и режимных параметров, влияющих на ход производства исследуемой продукции, оценки эффективности реализации имеющихся ресурсов, рентабельности и издержек производства.

4.3.3. Мультиагентная имитационная модель процесса производства мармелада с использованием ПО AnyLogic

Для более детального анализа процесса производства мармеладных конфет, необходимо построить имитационную модель на основе применения агентного моделирования. Для решения задачи, направленной на определение эффективности продукции, понадобится реализовать многокомпонентный проект, включающий другие методы визуализации модели и отображения её результатов.

Исследование и анализ ТП производства мармелада, проведенные в 1 главе, раздел 1.2., п.1.2.5, показали, что современный технологический процесс производства мармеладных конфет, представляет собой совокупность технологического оборудования, предназначенного для обработки рецептурных компонентов, которые, в свою очередь, используются как средство реализации для производства высококачественной продукции. Получение оптимального результата функционирования производства осуществляется посредством подбора технологических и режимных параметров, которые можно получить методом имитационного моделирования. Это позволит производить больше товаров высокого качества за более короткое время или подобрать наиболее оптимальные параметры, способные максимально эффективно использовать ресурсы предприятия для производства продукции.

Для построения имитационной модели процессов производства мармелада были использованы данные проведенных исследований ТП производства мармелада как объекта автоматизации (глава 1, раздел 1.2., п. 1.2.5).

Мультиагентная имитационная модель

Для реализации процесса производства мармелада использовались объекты библиотеки моделирования потоков. Основные автоматизированные процессы: автоматизация подачи рецептурных компонентов в промежуточные сборники сырья; автоматическое дозирование веществ в варочный котел для производства жележных масс; контроль параметров, влияющих на ход ТП, а также их стабилизация; автоматическая защита, предохраняющая оборудование от аварий и блокировка в случае необходимости. На рисунке 4.63 представлена мультиагентная имитационная модель ТП производства мармеладных конфет.

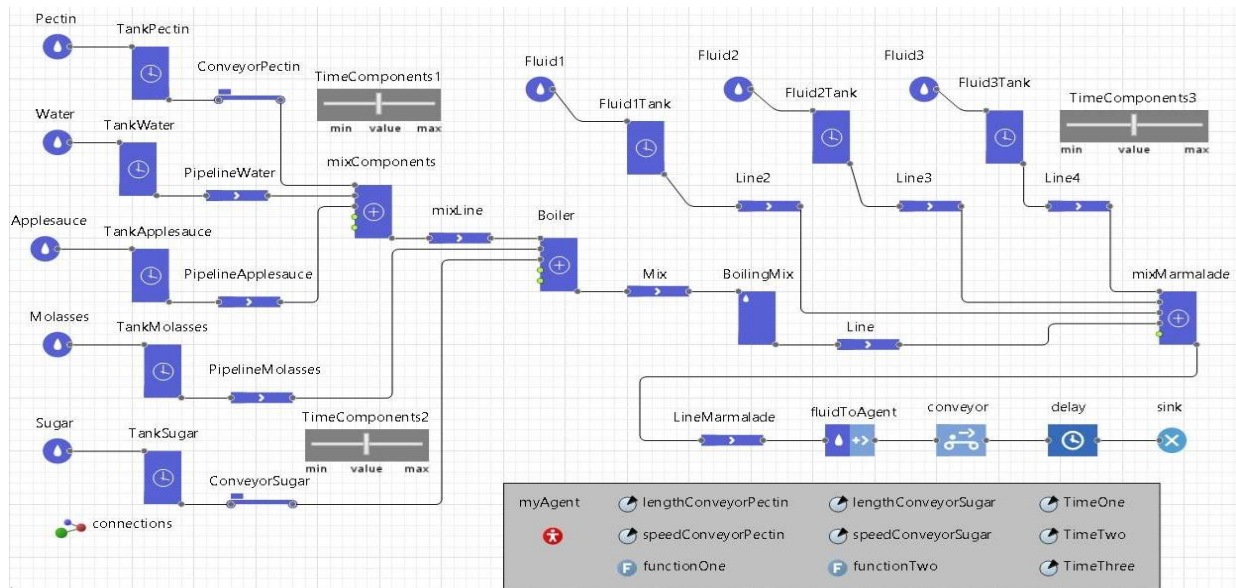


Рис. 4.63. Мультиагентная имитационная модель процесса производства мармеладных конфет

Первый объект *Fluid Source* (создает поток). Позволяет отследить количество используемого сырья за единицу времени. В модели производства мармеладных конфет имеет 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 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 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 Поток. 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 4.73.

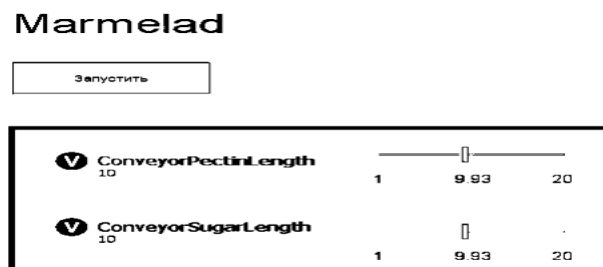


Рис. 4.73. Параметры запуска

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, в свою очередь, позволяет изменить скорость дозирования веществ, перед началом симуляции производства. На рисунке 4.64 показан стандартный формат воспроизведенной модели.

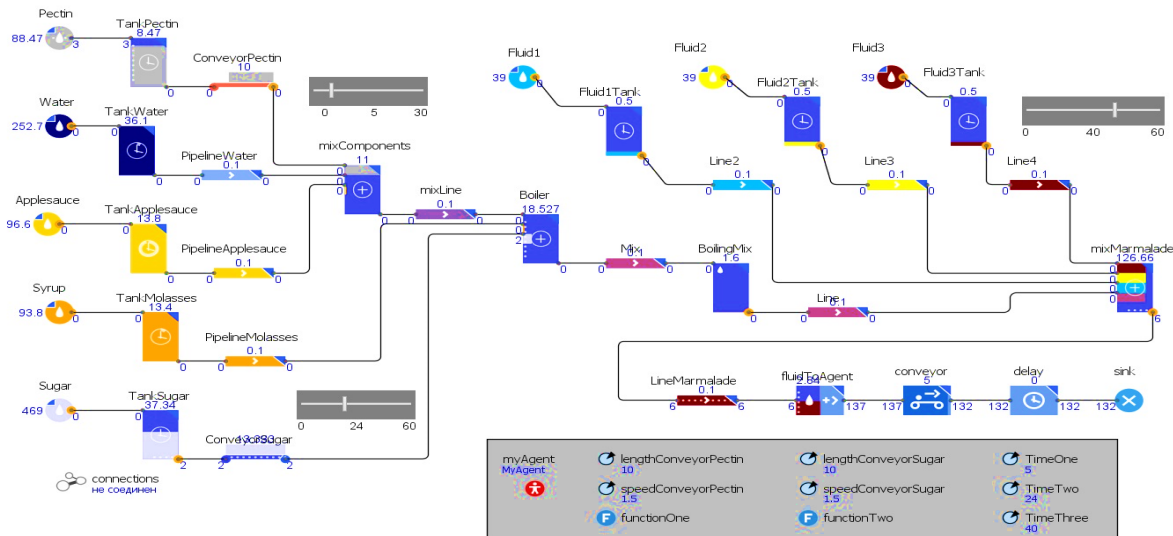


Рис. 4.64. Стандартный формат воспроизведенной модели

На рисунке 4.65 изображена та же модель, на основе библиотеки моделирования потоков, реализованная в виде двумерной графики, для презентации моделируемых процессов, с описанием основных задач производства.

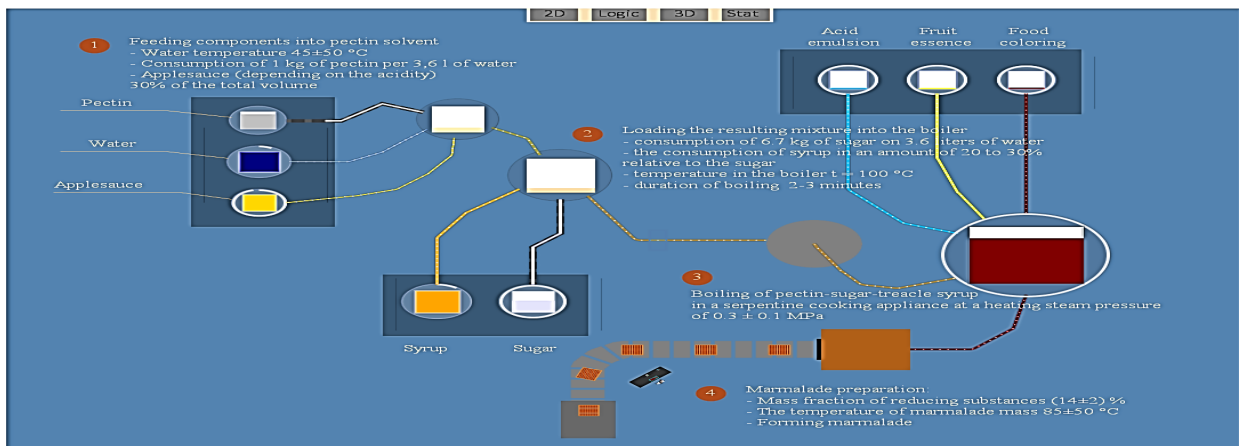


Рис. 4.65. Модель производства мармелада в формате двумерной графики

Агент регулировщик производственного процесса

Для регулирования параметров производства, которые могут прямо повлиять на качество функционирования автоматизированного процесса производства мармелада, служит специальный агент регулировщик. Данный агент представляет собой набор параметров, описанных необходимыми функциями реализации. Такие функции предназначены для корректного регулирования параметров модели с целью моделирования различных ситуаций, которые могут возникнуть при использовании оборудования.

На рисунке 4.66 изображены свойства агента 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.

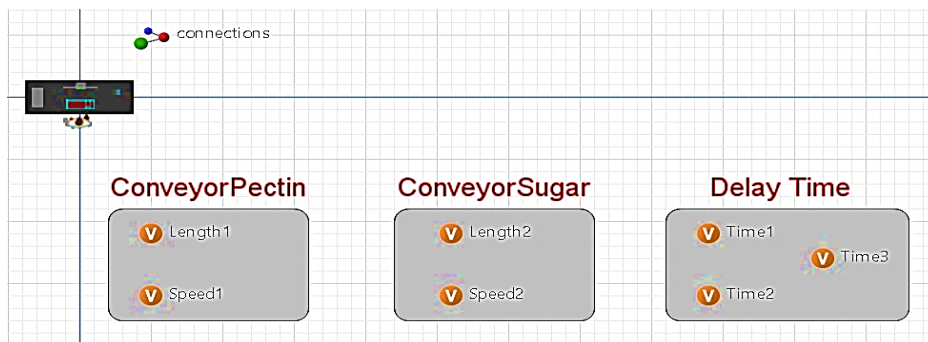


Рис. 4.66. Содержание агента

На рисунке 4.67 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).

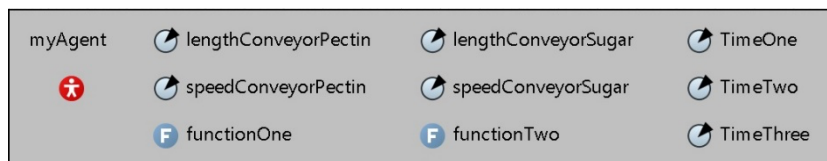


Рис. 4.67. Параметры и функции агента

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 модели после её запуска и служит защитой от ошибок, при изменении различных параметров, связанных со скоростью протекания автоматизированного процесса производства мармеладных конфет.

На рисунке 4.68 представлена визуализация результатов моделирования.

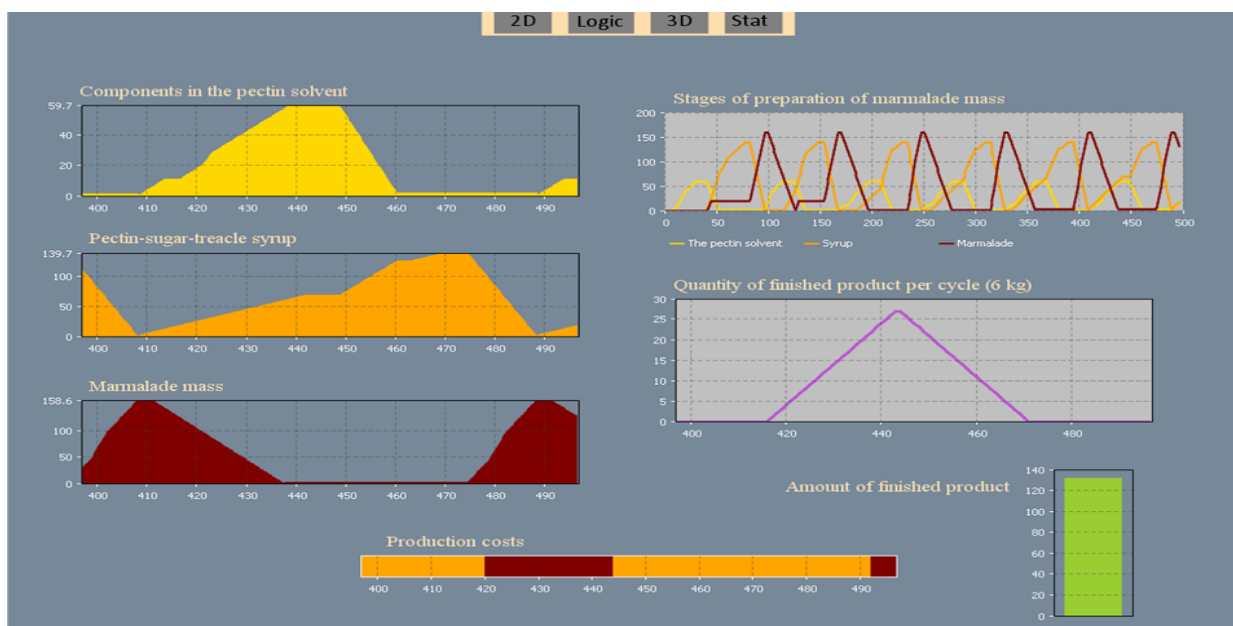


Рис. 4.68. Визуализация результатов моделирования

Статистические данные, представленные на рисунке 4.78 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 регуляторщик, 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 и трехмерной 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 технологических решений и формулирование задач по эксплуатации автоматизированной системы, реализуемой в кондитерской промышленности.

4.4. Выводы по 4 главе

- Проведены экспериментальные исследования и осуществлен выбор параметров, оказывающих наибольшее влияние на качество сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции на всех стадиях производства.

- Выполнено структурно – параметрическое моделирование и разработаны параметрические и математические модели ТП производства шоколада, глазированных помадных и пралиновых конфет, сбивных конфет (суфле, птичье молоко и др.), халвы, мармелада, карамели, зефира, козинак, драже, ириса.

- Разработаны ситуационные модели качества ТП кондитерской продукции различного агрегатного состояния: шоколада, глазированных помадных и пралиновых конфет, сбивных конфет (суфле, птичье молоко и др.), халвы, мармелада, карамели, зефира, козинак, драже, ириса. И на основе анализа полученных результатов разработаны ситуационные модели ТП производства кондитерской продукции.

- 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, глазированных помадных и пралиновых конфет, сбивных конфет суфле, птичье молоко и др.

- Разработанные в данной главе структурно- параметрические, математические, ситуационные и мультиагентные модели являются основой создания интеллектуальной автоматизированной системы контроля, прогнозирования и управления качеством кондитерской продукции в процессе производства.

ГЛАВА 5. МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОИЗВОДСТВА КОНДИТЕРСКОЙ ПРОДУКЦИИ НА ОСНОВЕ ИХ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ, МАТЕМАТИЧЕСКИХ, СИТУАЦИОННЫХ И ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ

5.1. Понятие цифровых двойников

Цифровой двойник (ЦД) – это математическая модель, которая может с высокой точностью описывать поведение объекта в разных ситуациях.

Цифровые двойники, представляющие собой виртуальные модели реальных объектов или процессов, позволяют моделировать, анализировать и оптимизировать различные аспекты реальных процессов производства в цифровом формате. Пример цифрового двойника приведен на рисунке 5.1.

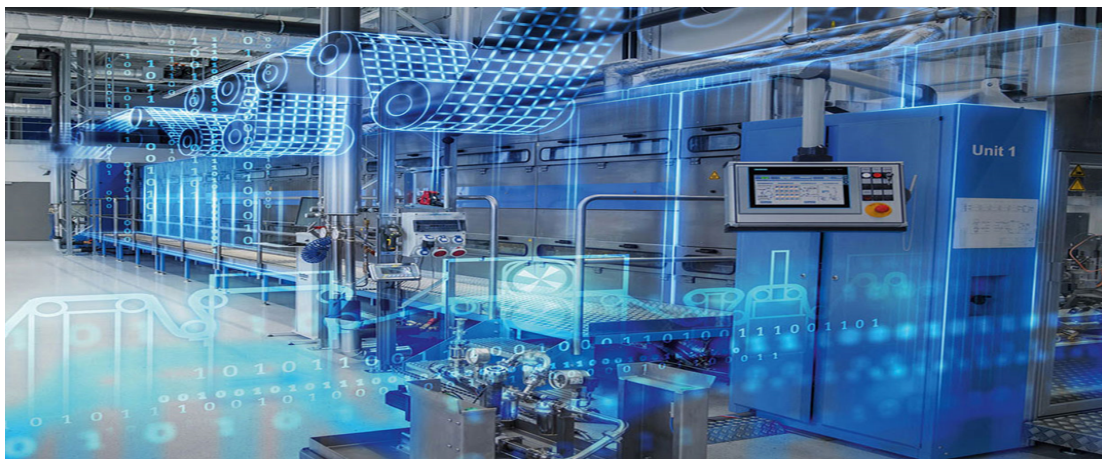


Рис. 5.1. Пример цифрового двойника линии производства изделий

С его 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]. 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) цифровые двойники могут быть легко интегрированы 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 цифровых двойников 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 производственных процессов кондитерского производства:

- В кондитерской промышленности существует огромное разнообразие продукции, что создает необходимость разработки уникального цифрового двойника для каждого вида продукта.
- Любое неверное предсказание или анализ со стороны цифрового двойника может привести к снижению качества готового продукта.

2. Интеграция с существующим оборудованием:

- Многие кондитерские производства используют старое или специфическое оборудование, которое может быть несовместимо с современными системами цифровых двойников.
- 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, цифровые двойники предоставляют кондитерской промышленности множество перспектив для оптимизации производства. Но, прежде чем получить все преимущества этой технологии, предприятиям необходимо преодолеть ряд серьезных проблем.

Тем не менее, с правильным подходом и стратегией, внедрение цифровых двойников может стать решающим фактором для успешного и эффективного производства кондитерских изделий высокого качества в будущем.

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 экономики, основанных на стремительном развитии целого ряда цифровых технологий: интернет вещей и большие данные, а также технологии распределенного реестра и блокчейн, робототехнику и квантовые технологии, виртуальную и дополненную реальность, предиктивную аналитику, нейротехнологии и фотонику. Особое место в этом ряду принадлежит цифровым двойникам, 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, как на рисунке 5.2.

В 2014 году Майкл Гривс опубликовал статью, полностью посвященную цифровым двойникам в производстве, где отметил, что основа концепции включает три базовых составляющих:

- реальный продукт в его реальном окружении;
- виртуальный продукт в его виртуальном окружении;
- информация и данные, связывающие реальный и виртуальный продукт.

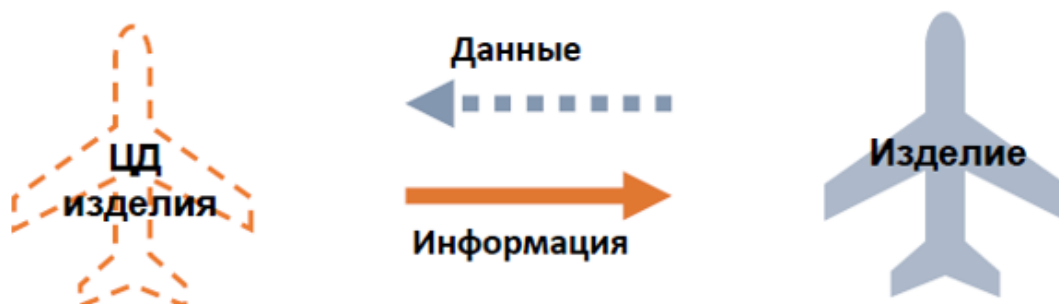


Рис. 5.2. Основа концепции цифровых двойников Майкла Гривса

Основываясь на концепции цифровых двойников, автор публикаций по цифровому маркетингу Лиор Китаин (Lior Kitain) выделил 4 стадии развития концепции, которые наглядно представлены на рисунке 5.3.

- 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.

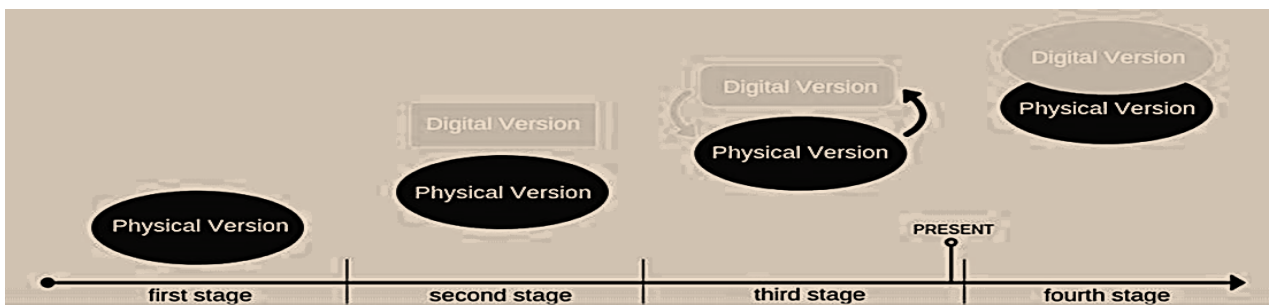


Рис. 5.3. Стадии развития концепции цифровых двойников [62]

Между первой и второй стадией развития цифровых двойников 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 цифрового двойника.

Если проанализировать эволюцию размышлений экспертов и практику инженерной деятельности применительно к созданию цифровых двойников, то

можно отметить переход от более простых объектов и процессов к более сложным и масштабным, как показано на рисунке 5.4. Выделяются следующие уровни анализа: отдельный компонент; изделие (продукт); цех (производство); технологический процесс; предприятие; расширенное предприятие, (то есть включающее поставщиков, партнеров, потребителей); здание; город; объекты инфраструктуры.

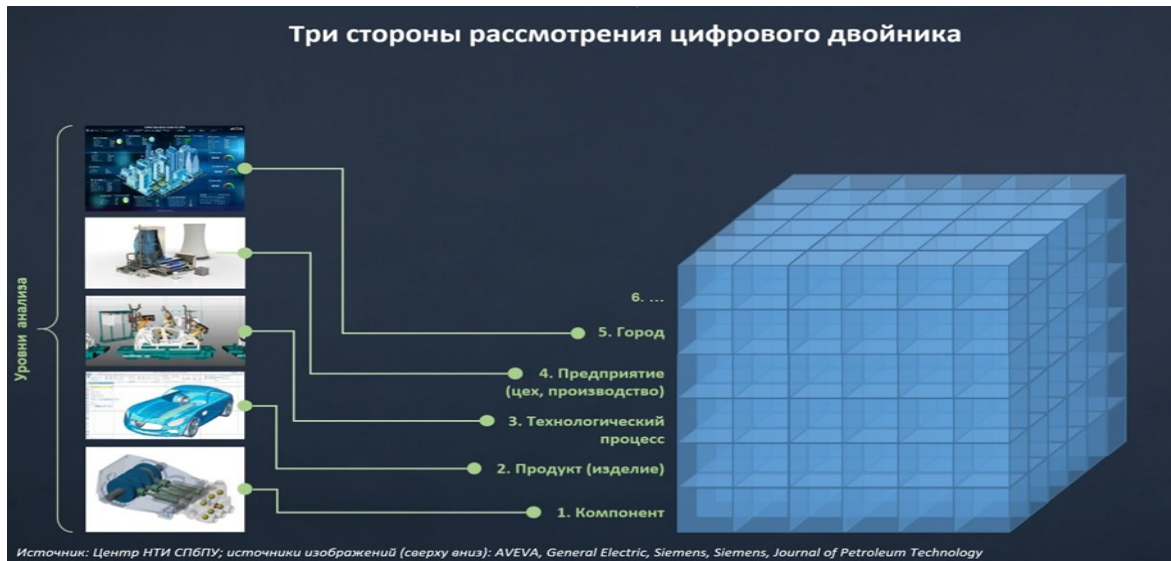


Рис. 5.4. Уровни анализа цифрового двойника

Следующим подходом к концепции выступают цифровые двойники со стороны жизненного цикла продуктов или реальных объектов. Цифровые двойники 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 цифровые двойники создавались для уже существующих объектов. Текущий уровень развития технологий способствует тому, что цифровые двойники могут создаваться на всех стадиях жизненного цикла реального объекта: от разработки, производства, испытания до эксплуатации и утилизации.

Третий подход к рассмотрению цифровых двойников лежит со стороны технологий, заложенных в основу цифрового двойника. Очевидно, что природа реального объекта (компонент, изделие, цех, предприятие или даже человек), а также стадия жизненного цикла, на которой этот реальный объект находится,

определяют то, какие технологии будут использоваться для создания цифрового двойника. Этот аспект влияет и на интерпретацию термина «цифровой двойник». Так, для многих авторов и организаций ряд технологий, включенных в решения цифровых двойников, являются терминологически значимыми. Например, некоторые считают, что те решения, которые не являются элементами промышленного интернета вещей, не являются и цифровыми двойниками [52].

Цифровые двойники можно создавать разными способами: модель на базе интернета вещей; графическая 3D-модель (пример представлен на рисунке 5.5); интегрированные математические модели; различные технологии визуализации — включая голограммы, AR и VR.



Рис. 5.5. Линия получения шоколадной глазури, созданная на базе 3D-модели

Для создания цифровых двойников 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 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.

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 (т. е. производства и эксплуатации). Применение такого подхода позволяет сократить количество изменений, вносимых в конструкцию при производстве и испытаниях опытных образцов линий производства изделий, 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 (ComputerAided Engineering, CAE и High-Performance Computing, HPC) инжиниринга и оптимизации (Computer-Aided Optimization, CAO)

- подготовка процессов производства, ориентированных на моделирование ТП аддитивного производства (Additive Manufacturing, СААМ). СААМ-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 цифрового двойника изделия применяются «лучшие в классе» технологии. В случае, если при объединении технологий появится (будет применена) технология, не отвечающая мировому уровню, которая не является лучшей для решения рассматриваемого класса задач, то, общий уровень изделия, измеряемый по тем или иным характеристикам, 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 все большее число различных компонентов. При создании подобных изделий их уже необходимо 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 па-

раметрами 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 взаимосвязаны между собой. Для данной методологии используется термин «модельно-ориентированный системный инжиниринг».

Модельно-ориентированный системный инжиниринг, «отвечая за всю картину в целом», позволяет обеспечивать и контролировать выполнение требований к продукции на протяжении всего жизненного цикла изделия. Другими словами, позволяет в каждый момент времени в процессе разработки «держать в поле зрения» всю систему и все её взаимодействующие между собой (или – «друг с другом») подсистемы / компоненты, 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 техническом задании, 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 анализируются 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, так называемый агрегатор всех знаний и данных о разрабатываемом изделии. 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.

Одним из наиболее распространенных методов, применяемых для решения задач при помощи компьютерного моделирования, выступает метод конечных элементов, МКЭ (Finite Element Method, FEM). В соответствии с ГОСТ Р 57188 «Численное моделирование физических процессов. Термины и определения» метод конечных элементов — сеточный метод численного решения задач матема-

тической физики, в котором дискретизация исходных краевых задач производится на основе вариационных или проекционных методов при использовании специальных конечномерных подпространств функций, определяемых выбранной сеткой. Данный метод не является единственным, однако опыт решения сложных производственных задач свидетельствует о его эффективности.

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 5.6.



Рис. 5.6. 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 и проведение ее дискретизации при необходимости).
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 (физическая постановка задачи). Она представляет собой упрощенную идеализированную схему (схематический чертеж), 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, как на рисунке 5.7.

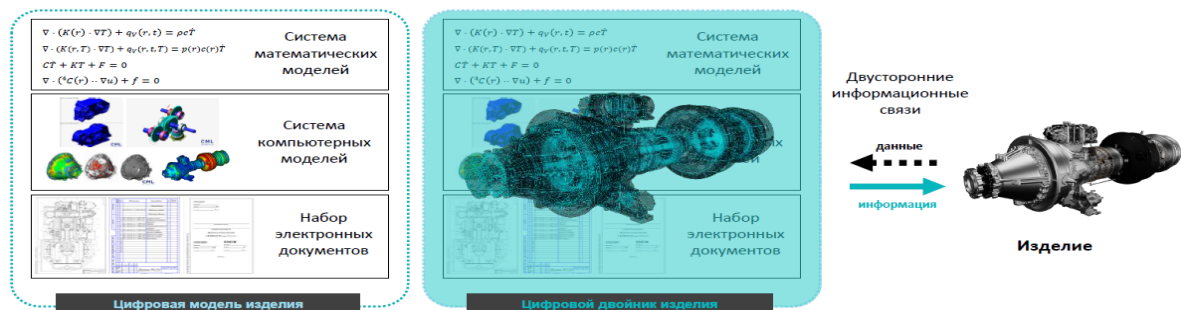


Рис. 5.7. Расчетная схема

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 электронно-вычислительных устройств 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.

Или другой типичный пример – для исследования динамического поведения непрерывных систем могут одновременно применяться два различных численных метода: один может быть связан с дискретизацией по пространству; другой может быть связан с дискретизацией по времени. В соответствии с этим от физической и математической постановки задачи будет зависеть, необходимо ли дополнительно проводить дискретизацию модели.

Само по себе наличие алгебраических уравнений не определяет способ расчета. Поэтому 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 (трансляция задачи вычислительной системе на одном из языков программирования высокого уровня). 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 мате-

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 ре-

зультатов и их визуализацию программное средство способно осуществить в автоматизированном режиме (без вмешательства человека), то есть эти действия скрыты от пользователя программной системы. 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 5.8.

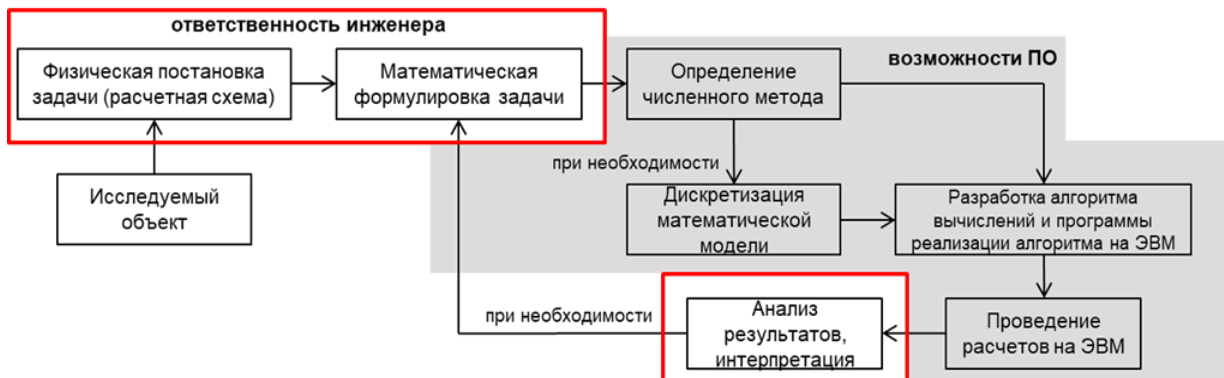


Рис. 5.8. Схема получения компьютерной модели на ЭВМ

Математическая модель трансформируется в компьютерную, которую инженер в конечном итоге получает при окончании цикла расчетов. Именно на этапе перехода модели «в руки» программного продукта математическая модель заменяется компьютерной.

Расширение технических возможностей позволяет решать количественно более сложные задачи. В связи с этим компьютерное моделирование становится одним из основных инструментов для проведения исследований, особенно в части сложных систем и процессов.

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 целой линией производства кондитерской продукции.

Одно из главных направлений науки - это прогнозирование 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 нормируемые показатели качества, которые должны быть обязательно в течении всего 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 позволяет выявлять и отслеживать на базе ЦД динамику изменения показателей качества, как сырья, так и полуфабрикатов 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 - 49].

Мониторинг и диагностирование ТП производства кондитерской продукции связано не с прогнозными моделями, а с имитационным моделированием всех этапов исследуемого производства. Имитационные модели строятся на знаниях о свойствах производимых изделий и физики протекающих процессов.

Как показывает опыт, разброс характеристик используемого при производстве сырья очень большой. Поэтому полученные в 4 главе структурно- парамет-

рические, математические, ситуационные и имитационные модели будут калиброваться по результатам натуральных 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. Это предоставляет возможность быстрой оценки комбинаций ингредиентов, определения оптимальных параметров технологического процесса и моделирования потребительских характеристик 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 цифровой двойник 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, цифровые двойники 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 цифровому двойнику предсказать будущий

спрос и выявлять возможные проблемы с качеством. И, наконец, когда продукция достигает конца своего жизненного цикла, цифровые двойники могут обеспечивать информацией о составе изделия, что способствует эффективной утилизации и переработке в соответствии с экологическими стандартами.

Интеграция цифровых двойников способствует снижению затрат и улучшению качества выпускаемой продукции.

5.4. Научная база создания цифровых двойников производства кондитерских изделий

Для создания конкурентоспособной кондитерской продукции нового поколения нами изучены и представлены ключевые компоненты технологии проектирования цифровых двойников. На рисунке 5.9 представлена общая схема исследований по разработке научных основ для создания ЦД производства кондитерских изделий. Только такой современный подход позволит реализовать поставленные в данной работе задачи.

Проработаны технологии мирового уровня для их использования при создании ЦД, подходы и методики системного инжиниринга MBSE проектирования, 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 кондитерской 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.



Рис. 5.9. 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 применяются «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 требования по высокому качеству выпускаемых готовых изделий.
- Аддитивные технологии, используемые при изготовлении основных элементов линий производства кондитерской продукции. 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.

Инструмент \ Обл. моделирования	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	+	+	+	+	+

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 сложных систем, для тестирования различных гипотез, проведения экспериментов и анализа данных.	Позволяет выделить для исследования наиболее важные свойства объекта, абстрагируясь от несущественных его 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 и воссоздающая поведение реальной системы на протяжении определенного времени. Даёт возможность получить детальную имитационную модель, позволяет получать подробную статистику о разных сторонах работы системы. 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. Процессы системного инжиниринга, методология MBSE применимы на всех этапах жизненного цикла производства кондитерских изделий.

Многоуровневая матрица требований и ресурсных ограничений

Конкурентоспособное кондитерское изделие должно удовлетворять ряду требований, установленных в соответствующем ГОСТе. Некоторые требования могут друг другу противоречить. В процессе разработки ЦД ТП производства кондитерской продукции раскладывается на подсистемы (процессы) и компоненты, выполняющие определенные функции, которые необходимо количественно описать с помощью технологических и режимных параметров исследуемых процессов. Для систематизации требований и ограничений рекомендуется пользоваться V-образной диаграммой создания ЦД процессов производства кондитерских изделий (рисунок 5.10) с помощью ограничений диапазона изменения основных технологических, режимных параметров, а также показателей качества конкретных кондитерских изделий.

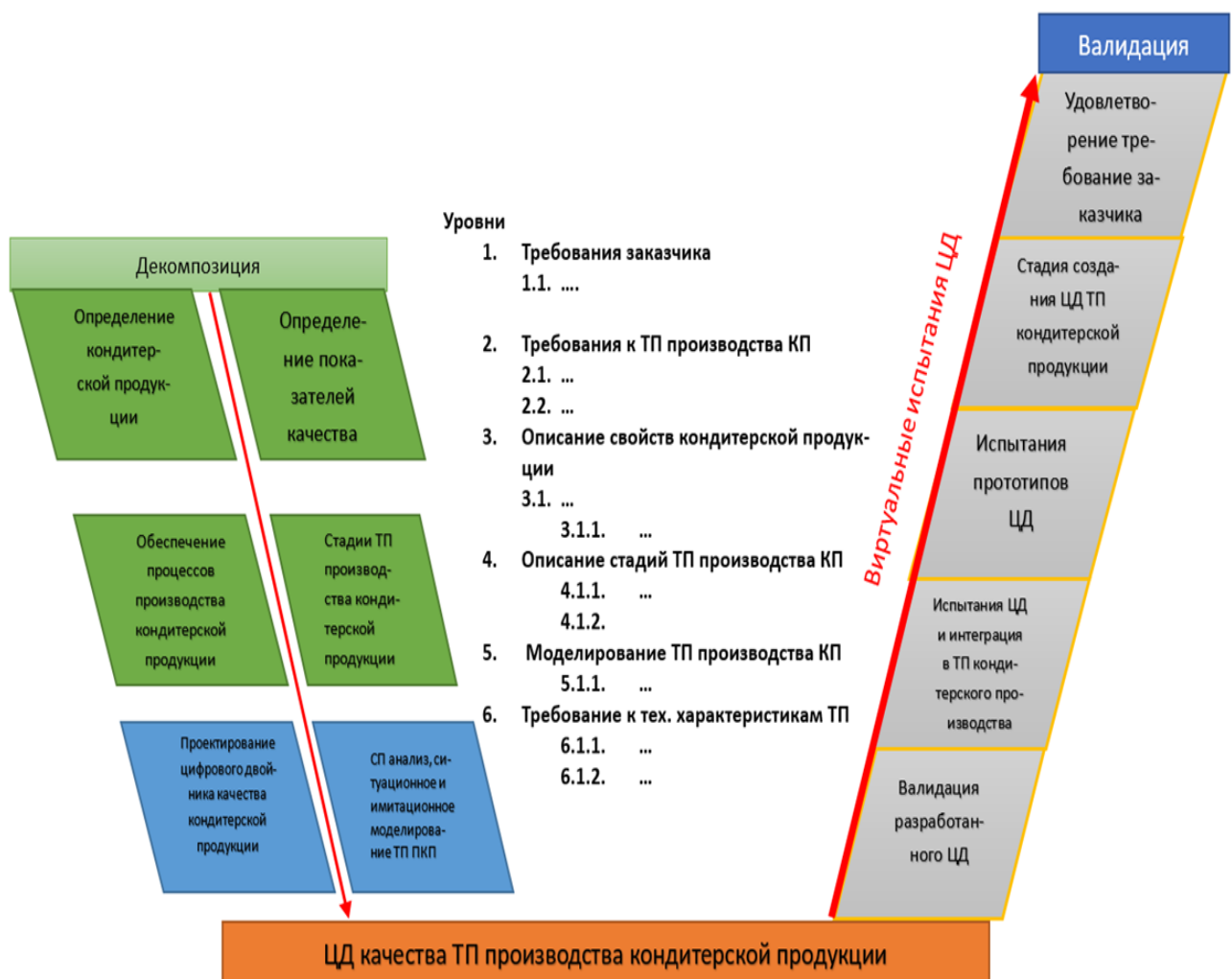


Рис. 5.10. V-образная диаграмма создания ЦД качества производства кондитерской продукции

Полученные данные заносятся в таблицу 5.2, где отмечается соответствие или конфликт внесенных данных. Например, требования заказчика по максимальному эффективному производству шоколада с использованием 100% какао масла и его минимальная стоимость имеют общий конфликт (противоречие).

Таким образом, базовой частью ЦД качества исследуемых процессов будет иерархическая 3D модель комплекса органолептических показателей качества каждого из этих изделий с возможной переменной глубиной детализации каждого органолептического показателя как отдельного самостоятельного элемента, которые интегрированы в готовое кондитерское изделие, описанных моделями, интерпретирующими зависимость контролируемых (в рамках моделирования) выходных параметров от входных и режимных параметров. ЦД должен быть самостоятельным инструментом анализа и представлен единой системой взаимосвязанных 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 (процесс или этап производства) моделирования представляет собой локальную модель, которая должна однозначно описывать протекающие процессы в конкретном производстве.

Каждая стадия 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 объек-

тов моделирования (процессов или этапов производства), т.е. возможность реализовывать принцип гибкости и возможности подстраиваться под любой запрос потребителя с определенными доработками с учетом различного набора этапов процессов производства и выполняемых функций.

Требования к ЦД качества ТП производства кондитерской продукции

В ЦД ТП производства кондитерской продукции должны учитываться базовые процессы преобразования 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. 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 также значения, поступающие 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 на целевые показатели происходит наполнение и последовательное формирование матрицы.

База для валидации разрабатываемых моделей.

Валидация разработанных моделей должна включать следующие процессы: • подтверждение соответствия параметров моделей и объектов моделирования производства кондитерской продукции с учетом подобия процессов и характеристик всех этапов исследуемого производства; • подтверждение воспроиз-

водимости и повторяемости (стабильные результаты эксперимента при различных входных условиях) параметров объекта моделирования; • проверка адекватности разработанных моделей ТП производства кондитерской продукции реального производства валидации разработанных моделей ЦД ТП производства кондитерской продукции (рисунок 5.11).

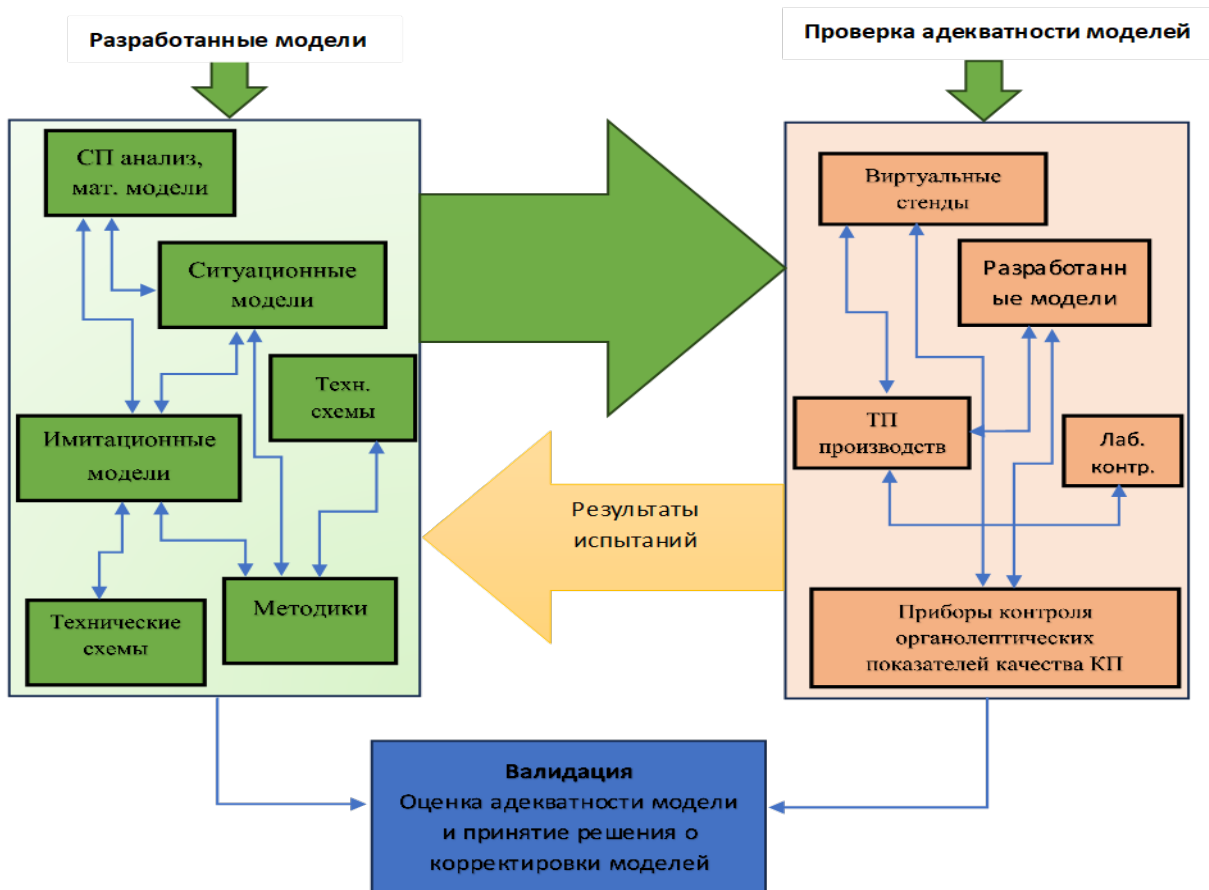


Рис. 5.11. Схема валидации разработанных моделей ЦД ТП производства кондитерских изделий

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 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

[36]. Любые дефекты, будь то вкус, запах, текстура или внешний вид, могут существенно повлиять на восприятие бренда и лояльность покупателя [52]. Для производства современных видов шоколада, кондитерских изделий из 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, 223]. 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 системах, могут не выявить все дефекты или быть неэффективными с точки зрения затрат времени и ресурсов [25, 60, 51 – 19]. В современном мире, где производственные процессы становятся все более автоматизированными и высокотехнологичными разработка цифрового двойника ТП производства шоколада с использованием высокоэффективных интеллектуальных технологий представляет собой обещающий высокоэффективный инструмент для цифровизации и повышения эффективности процессов производства шоколада, поскольку может существенно улучшить качество выпускаемой продукции, 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 особенности, 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 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; минимизация количества используемых ресурсов (приборов, оборудования и персонала);

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. Проводить мониторинг состояния и обслуживания оборудования.
5. Быстрое проведение тестовых запусков ТП производства шоколада и без существенных материальных затрат.
6. Прогнозирование и быстрое обнаружение проблемы или уязвимости процессов производства шоколада до запуска производства, что позволяет повысить эффективность процессов, отследив все сбои еще до старта.
7. Тестирование новых шоколадных изделий, 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 с использованием формата AUTOMATIONML

Отмечаемая в 4 главе (раздел 4.1) адаптивность процесса производства шоколада и управление им на всех этапах жизненного цикла является несомненным конкурентным преимуществом современного производства. 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 Цифровой двойник реального производственного процесса производства шоколада. Данный подход в решении проблемы идентификации устройств и их данных при разработке систем автоматизации строится за счет использования единой платформы. Идеология единой платформы создает собственный стандарт для работы с данными.

На практике же такие решения приобретают свою дополнительную ценность за счет поддержания двухстороннего обмена данными и возможностей по интеграции между собой для создания единого массива устройств и 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 [14]. Данное исследование было направлено на проверку гипотезы о возможностях практического применения AutomationML для создания структурированного описания устройства в рамках единого Цифрового двойника системы производства шоколада. Создание экземпляра устройства, файла описания структуры и данных осуществлялось с помощью инженерных систем и программного обеспечения класса E-CAD.

Нами был рассмотрен стандарт языка AutomationML, определены его требования к структуре данных для включения экземпляров устройств в Цифровой двойник системы производства шоколада. Затем была разработана методология проверки гипотезы применения AutomationML для структурирования данных и создания файла обмена данными для блока 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. Авторы стандарта языка разметки автоматизации AutomationML, представляющие сообщество и международную организацию AutomationML ставят своей целью распространение и дальнейшее развитие формата данных AutomationML в качестве открытого, нейтрального и бесплатного промышленного стандарта для межфирменного и междисциплинарного обмена данными планирования для производственных предприятий [206]. 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 [6]. 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.

Организация AutomationML e.V. поддерживает инициативы пользователей в реализации интерфейсов на основе AutomationML, предоставляя программные пакеты, знания и обучение. В настоящее время более ста ведущих производителей оборудования и программного обеспечения 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 и объектам, содержащих различное оборудование. Такая информация задается за счет трехмерных чертежей с указанием свойств сырья, полуфабрикатов и готовой продукции;
- представление схмотехнических решений по электрическим или пневматическим данным. Представляется в виде чертежей, содержащих информацию о компонентах, их характеристиках, разъемах, 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 об системе или входящих в неё компонентах.

Теоретические работы по описанию и опыт использования языка AutomationML в промышленности [74, 87] 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 зачастую лежит собственная модель данных, ориентированная на основной выполняемый функционал. Примером таких инструментов может быть SCADA система [206], отвечающая за хранение и отображение технологических данных или среда программирования ПЛК, описывающая алгоритмы управления. В основе применения AutomationML находится формат данных верхнего уровня – CAEX [236]. 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, выраженное в иерархии; описание отношений между объектами и внешними документами. В настоящей идеологии используется объектно-ориентированный подход, при котором семантика системных объектов определяется с помощью ролей, описанных в библиотеках ролевых классов. Например, интерфейсы между описываемыми объектами определяются с помощью классов интерфейсов, описанных и назначенных в библиотеках классов интерфейсов.

Архитектура AutomationML, показанная на рисунке 5.12, предоставляет четыре основных средства моделирования системы и её элементов.

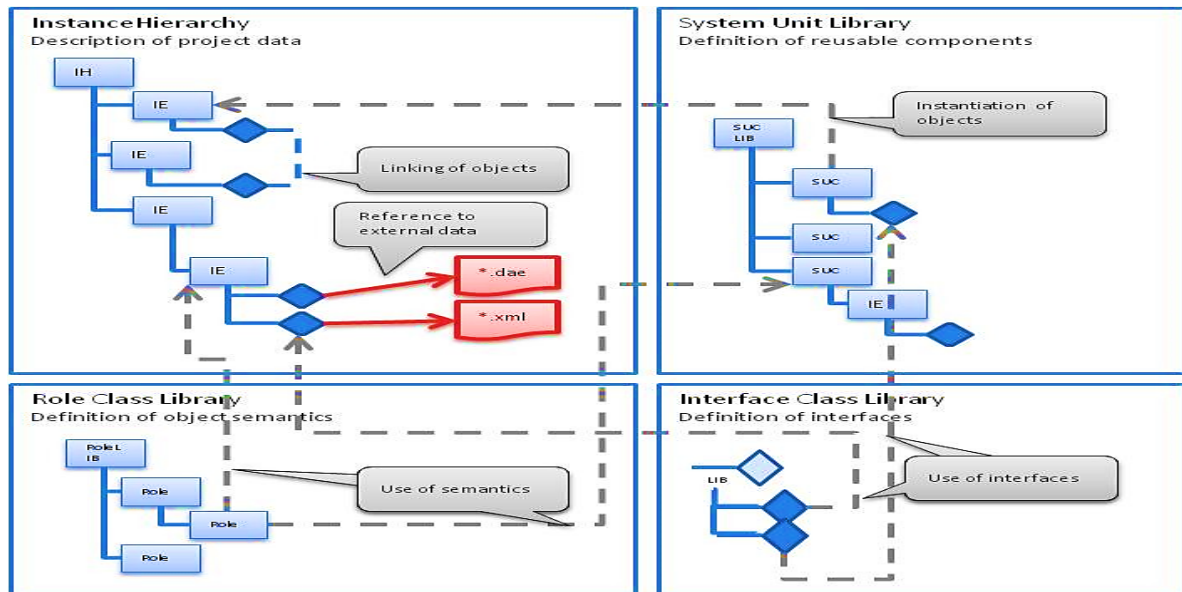


Рис. 5.12. Архитектура описания топологии AutomationML

Основной вывод, который можно сделать из исследований заключается в том, что предлагаемый стандартный язык разметки способен описать конфигурацию компонентов ПОТ, конфигурацию обмена данными между системами проектирования, отображения диаграмм контроля, моделирование технологии процессов, цифровой актив элементов и систем.

Проведенные и описанные в данном разделе исследования, подтверждает гипотезу о том, что язык разметки AutomationML, основанный на стандартном XML может использоваться 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. Это говорит о том, что любое программное обеспечение 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 том, что язык разметки формата AutomationML решает проблемы интеграции данных между различными стадиями производства шоколада и служит базой для описания ЦД двойника в рамках единой технологической системы контроля и управления.

5.5.4. Применение разработанного комплекса инструментальных средств для создания ЦД процессов производства шоколада

В рамках данной работы был реализован цифровой двойник производства шоколада представленный на рисунке 5.13. Он был создан с использованием современных графических движков, что позволило добиться высокой степени реалистичности работы процесса в цифровом пространстве.

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).

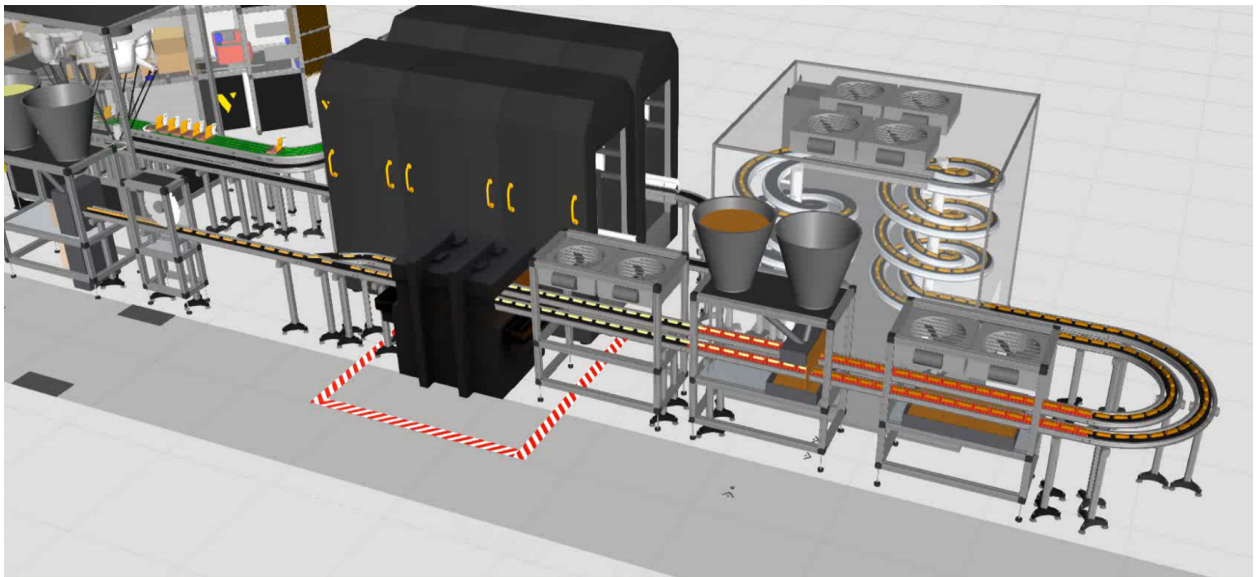


Рис.5.13. Цифровой двойник ТП производства шоколада

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.

Шоколад, будучи одним из самых популярных лакомств в мире, не является исключением. Бракованный шоколад не только может вызвать разочарование у потребителей, но и стать причиной дополнительных затрат для производителей, связанных с возвратами, переработкой и потерей качества [136,

170]. Традиционные способы контроля качества кондитерской продукции, основанные на органолептических методах осмотра, могут не выявить все дефекты или быть неэффективными с точки зрения затрат времени и ресурсов [204, 212]. В современном мире, где производственные процессы становятся все более автоматизированными и высокотехнологичными, необходимы более продвинутые и надежные методы контроля [144, 164].

В этом контексте машинное обучение и, в частности, нейронные сети представляют собой обещающий высокоэффективный инструмент для цифровизации и повышения эффективности процессов контроля качества [25, 60, 61, 241]. 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.

Однако 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].

В данном разделе представлена разработка и обучение нейронной сети YOLO для автоматического распознавания бракованных плиток шоколада с использованием данных, полученных из цифровой симуляции производственного процесса. Данное исследование направлено на демонстрацию возможностей современных технологий в области контроля органолептических показателей качества кондитерской продукции.

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 нашей 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 (anchors), 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 повышают качество и устойчивость модели, а также её способность к обобщению [81, 86].

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.

Аугментация данных — это метод создания новых обучающих примеров путем внесения случайных изменений в существующие изображения. Это помогает увеличить объем и разнообразие данных, а также делает модель менее чувствительной к определенным видам изменений в изображениях. В нашем случае использовались 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 отражают 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. Полученный результат представлен на рисунке 5.14.

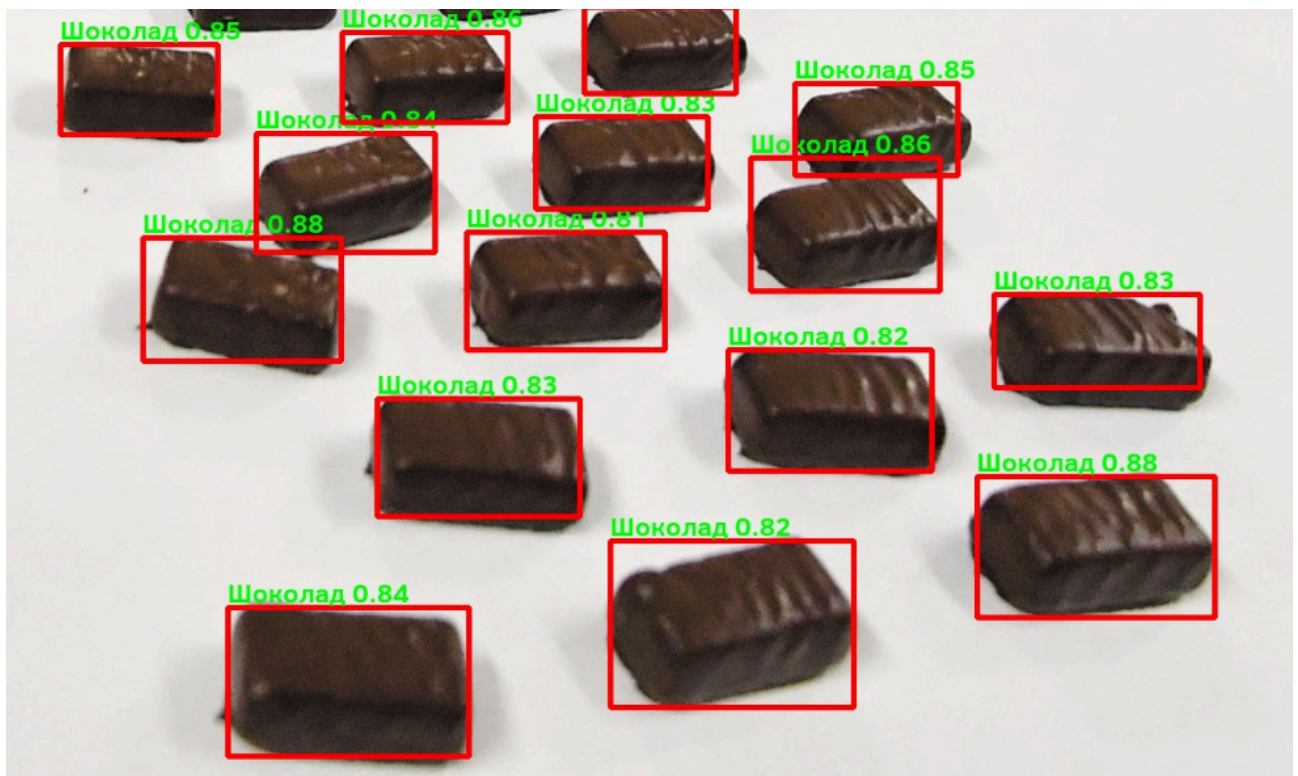


Рис. 5.14. Результаты работы нейронной сети Yolo

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.

Таким образом, созданный ЦД процессов производства кондитерской продукции на примере линии производства шоколада, позволяет в целях повышения эффективности автоматически определять прогнозируемые показатели качества выпускаемых кондитерских изделий при заданных условиях внешней среды, технологических и режимных параметрах процессов производства.

Внедрение созданных цифровых двойников (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.

В основе реализация ЦД лежит онтологический подход к представлению знаний предметной области, позволяющий построить базу знаний стадий производства различных сортов кондитерской продукции в виде семантической сети экземпляров классов понятий и отношений. В дальнейшем эти знания могут дополняться и уточняться из опыта, накопленного специалистами в ходе производства той или иной конкретной кондитерской продукции.

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 интеллектуальную систему контроля и управления необходимые коррективы.

Правила расчета органолептических показателей качества кондитерской продукции строятся на основе полученных в четвертой главе структурно-параметрических, математических, ситуационных и имитационных моделей, задающих диапазоны значений параметров производства на каждой стадии.

Изменение показателей качества используемого сырья или технологических и режимных параметров на любой стадии производства должно вызывать адаптивный перерасчет показателей качества получаемых полуфабрикатов на данной и последующих стадиях.

В рассматриваемой постановке агент задачи (стадии производства) имеет возможность динамически пересчитывать органолептические показатели качества в зависимости от сложившихся условий (например, изменившихся органолептических показателей качества сырья и рецептурных компонентов), что является важной особенностью разработанного ЦД.

Для достижения заданного результата - качества производимых кондитерскому изделию 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 связан набор условий, определяющих ограничения на значения заданных технологических и режимных параметров, а также заданных показателей качества качества готового кондитерского продукта.

Предусматриваются 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

- Даны определения цифровых двойников (ЦД), представлены задачи, которые способны решать ЦД. Показаны возможности использования ЦД в кондитерской промышленности.

- Проведен анализ проблем разработки и использования в кондитерской промышленности цифровых двойников.

- В рамках этой главы 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 раз-

работки. 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 диаграмма создания ЦД ТП производства кондитерской продукции.

- На примере линии производства шоколада показано применение разработанного комплекса инструментальных средств для создания ЦД процессов производства кондитерской продукции. Для описания цифрового двойника 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 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, а также создание видимости аутентичности данного продукта по отношению к аналогам. 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 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 среди возраста 35-49 лет интереса к технологии кастомизации [182].

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 кастомизации представлены на рисунке 6.2.



Рис. 6.1. Пример кастомизации получения элитных конфет



а) терминалы сети ресторанов «Макдоналдс»

б)

Рис. 6.2. Примеры кастомизации

В сети ресторанов быстрого питания «McDonald's», заказ еды осуществляется через терминал, в интерфейсе которого реализован механизм добавления или удаления части ингредиентов, а 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 йо-

гурты. 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.

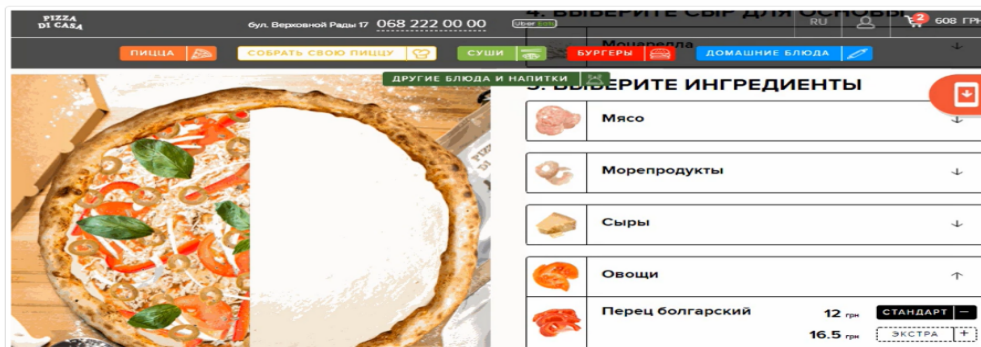


Рис. 6.3. Пример веб-страницы кастомизации в «Pizza Di Casa»

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 (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 которого будет создаваться 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

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 также работают над оптимизацией модели для печати, что может включать корректировку толщины стенок, углов и поддерживающих структур, чтобы обеспечить стабильность и долговечность кондитерской продукции. Кроме того, на этом этапе можно проводить виртуальные испытания модели, чтобы оценить ее визуальные и функциональные характеристики. После завершения 3D-моделирования и получения утверждения от заказчика модель готова к печати. Современные 3D-принтеры, работающие со съедобными материалами, позволяют воплотить эти цифровые модели в физические объекты.

Завершающим этапом является постобработка печатных изделий, которая может включать чистку, глазирование или добавление декоративных элементов. Этот этап позволяет придать конфетам законченный вид, подчеркнуть их уникальность и сделать их еще более привлекательными для потребителя. Таким образом, разработка трехмерных моделей конфет является многоэтапным процессом, который сочетает в себе креативность и технологическое мастерство, позволяя создавать не только вкусные, но и визуально уникальные кондитерские изделия.

Для создания цифровой трехмерной модели конфеты сначала необходимо скачать программу Blender с официального сайта по этой ссылке <https://www.blender.org/download/>. После скачивания необходимо выбрать путь установки и дождаться её завершения (рисунок 6.4).

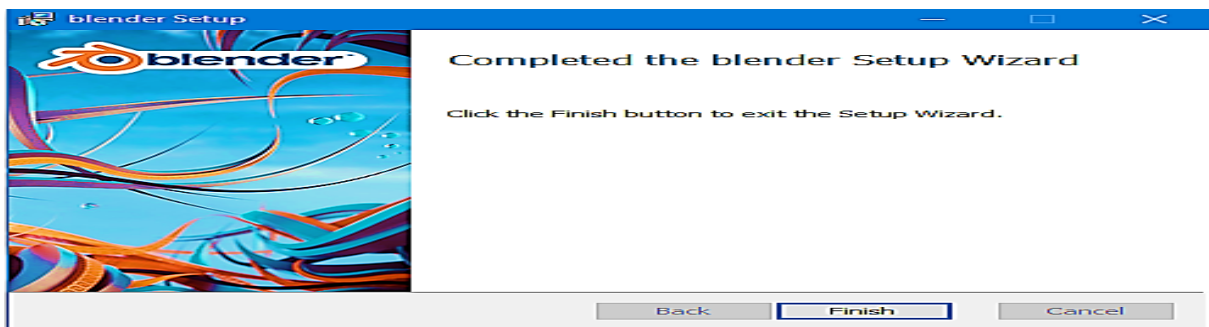


Рис.6.4. Завершение установки.

Открыв Blender, увидим интерфейс (рисунок 6.5) и заранее подгруженные объекты, которые нам не нужны. Поэтому выделив их мышкой удаляем.

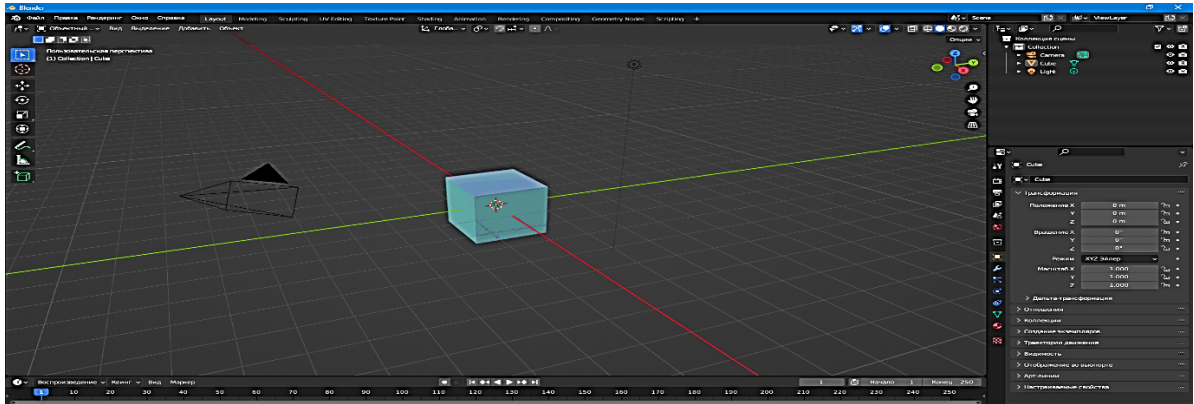


Рис.6.5. Стартовый интерфейс

Затем кликая в свободном месте правой кнопкой мыши, вызываем контекстное меню и выбираем форму конфеты (рисунок 6.6).

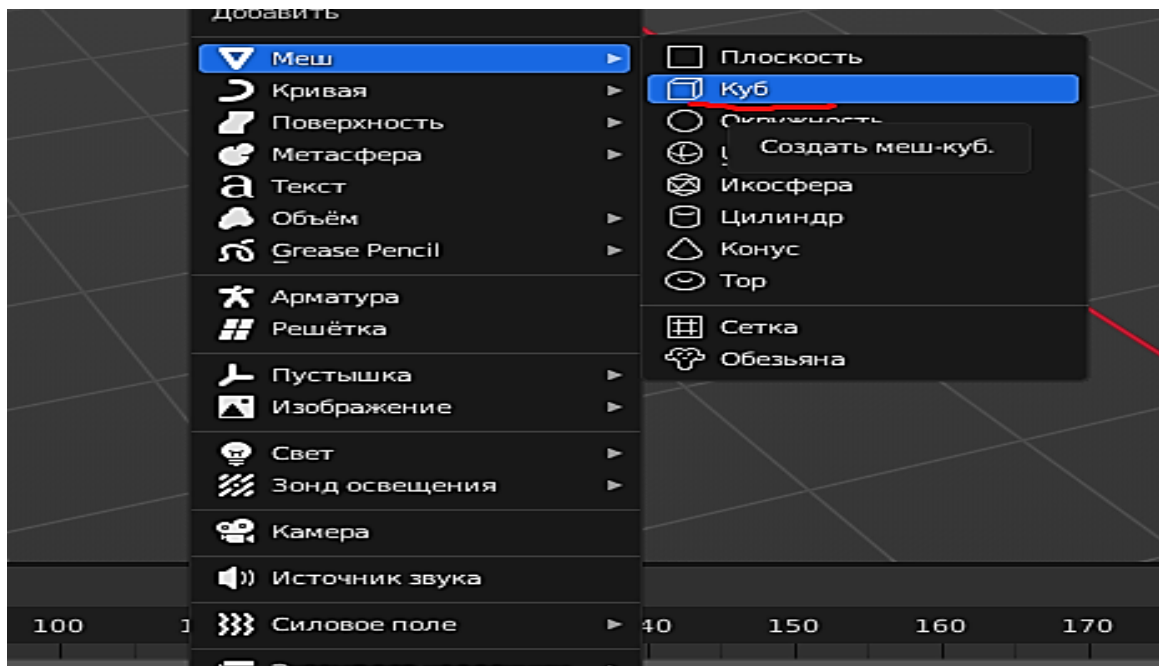


Рис.6.6. Создание формы конфеты

С помощью табуляции заходим в редактирование объекта. В этом меню есть три типа редактирования, точки, ребра и грани. С помощью сочетания клавиш **shift + A** выбираем нужные грани, после чего выбираем по какой оси будем вытягивать фигуру.

Для формирования начальной формы конфеты объект можно масштабировать по граням нажимая на них мышкой. Нам, например, нужен параллелепипед. Тогда полученный объект растягиваем по оси Y, после чего по оси Z сплющиваем его, чтобы получить нужную форму.

Делаем все это в режиме редактирования чтобы в последствии не было проблем с трансформацией объекта и применением модификаторов. Для удобства можно приподнять модель в воздухе сочетанием клавиш G + Z. Далее редактируем грани. Для этого на панели инструментов выберем нужные нам грани (рисунок 6.7).

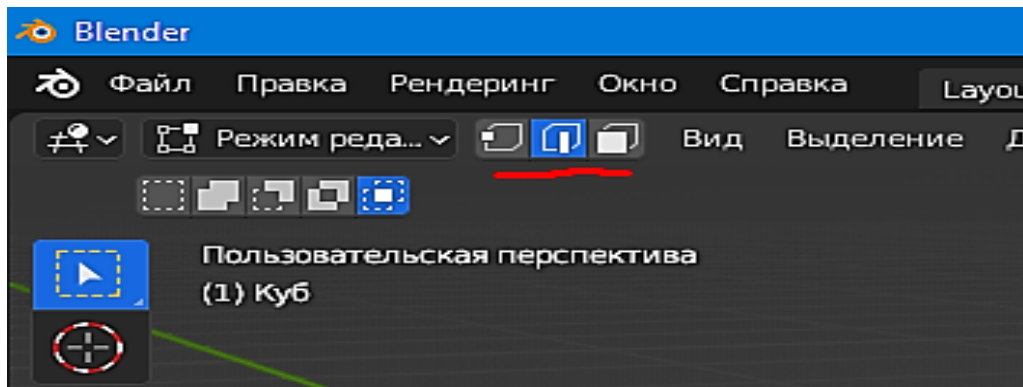


Рис.6.7. Выбор граней

Для большей плавности граней нажмем $\text{ctrl} + \text{B}$ и потянем немного в любую сторону от точки. Это создаст нам дополнительные грани для схожести с реальным объектом. Для увеличения количества граней конфеты с помощью $\text{ctrl} + \text{R}$ создадим дополнительную сетку и расширяем ее как в нужном направлении. Далее используя $\text{shift} + \text{клик}$ убираем из выделения нижние грани. Создаем дубликаты выбранных граней сочетанием клавиш E + ПКМ. Приподнимаем их. И с помощью клавиши S немного масштабируем их. Далее выходим из режима редактирования и выбираем в контекстном меню гладкое затенение (рисунок 6.8).

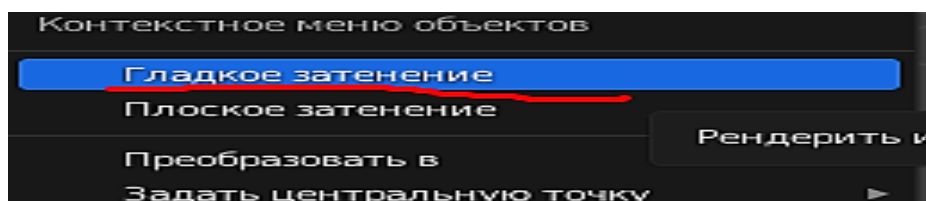


Рис.6.8. Выбор гладкого затенения.

Создав необходимую форму конфеты, далее заходим в режим полупрозрачности для удобства размещения начинки внутри конфеты (рисунок 6.9).

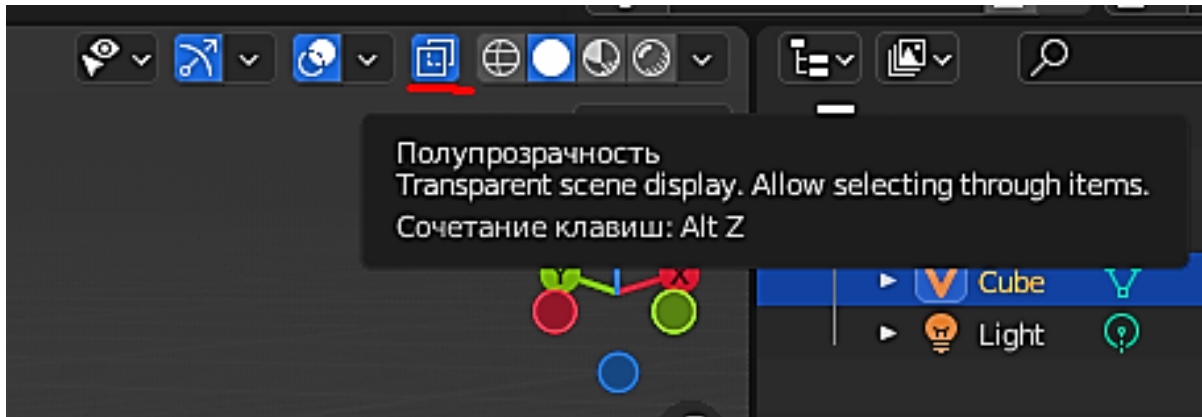


Рис.6.9. Режим полупрозрачности.

Для создания начинки делаем три параллелепипеда нужных размеров и помещаем их внутрь конфеты. Добавим шейдеры на 3D модель. С помощью комбинации клавиш `shift + F3` зайдём в редактор шейдеров (рисунок 6.10).

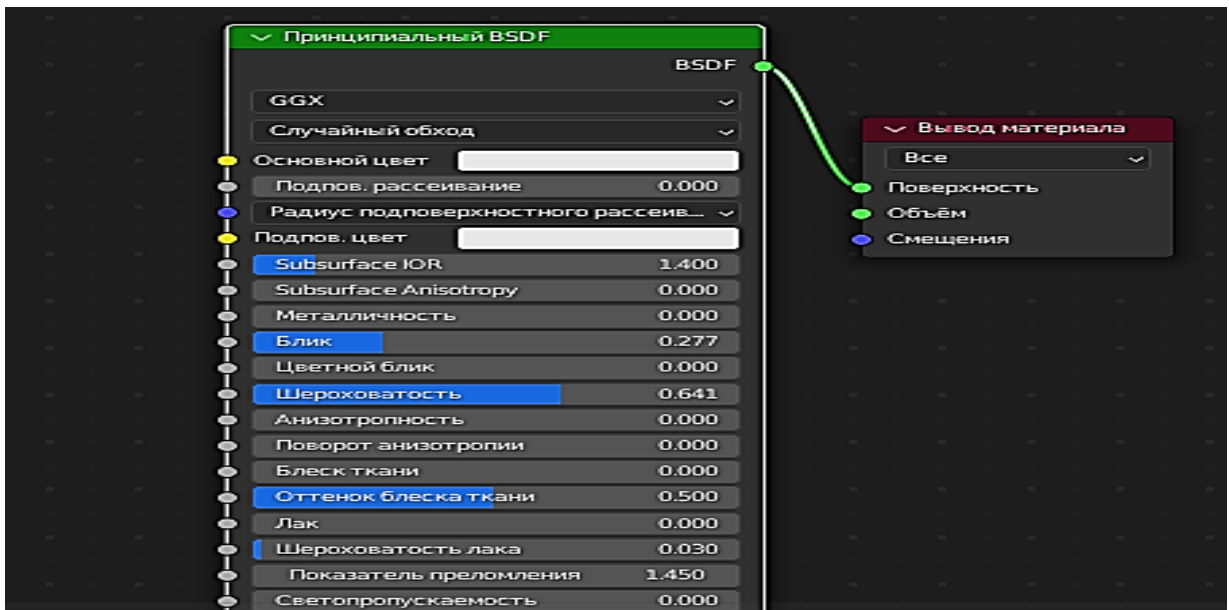


Рис.6.10. Редактор шейдеров.

При этом откроется окно редактора, в котором выберем цвет конфеты. Увеличиваем параметр шероховатости и уменьшаем параметр блика, если нам это нужно по разработанному эскизу. Далее в правой верхней части интерфейса скрываем основу конфеты, чтобы осталась видна только начинка. И таким же способом редактируем шейдеры для начинки.

После чего создаем копию всей модели конфеты по имеющемуся эскизу и с помощью кнопки сечение убираем половину второй конфеты (рисунок 6.11). И выставляем ее, как захотим.

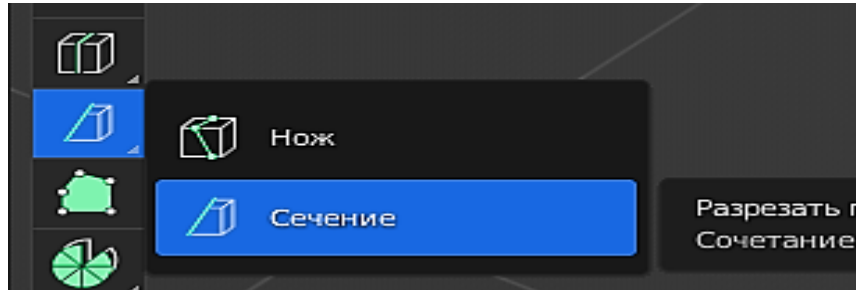


Рис.6.11. Выбор режима разреза.

Завершая разработку цифровой трехмерной модели конфеты, сохраняем ее в формате .blend и придумываем ей оригинальное название. На этом создание 3D-модели конфеты завершено.

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, кокосо-

вая 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 6.12. представлен прототип конфигуратора для кастомизации.



Рис. 6.12. 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 6.13.

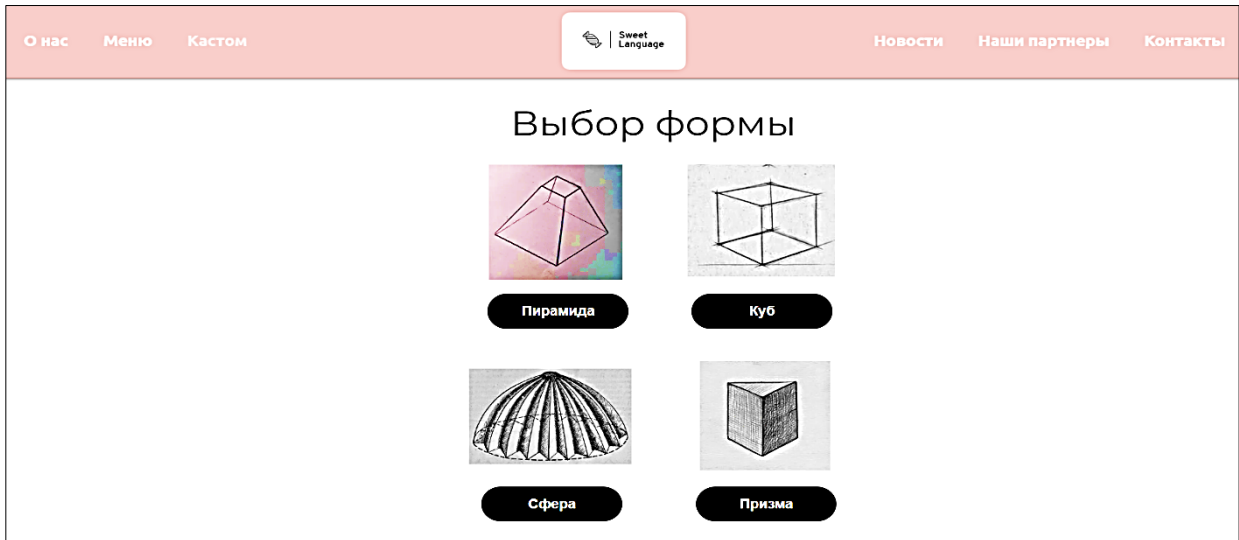


Рис. 6.13. Выбор формы кондитерского изделия

Стоит отметить, что все возможные варианты являются первоначальными. Параллельно с развитием масштаба производства будут внедряться новые формы и дополнительные этапы кастомизации.

Второй этап кастомизации. 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 6.14.



Рис. 6.14. 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 6.15.



Рис.6.15. 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 6.16.



Рис. 6.16. 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 6.17.



Рис. 6.17. 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 играют 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. Пятый этап кастомизации – выбор цвета шоколада для глазирования конфет представлен на рисунке 6.18.



Рис. 6.18. Выбор украшения для кондитерского изделия

Примеры готовых кастомизированных конфет представлены на рисунке 6.19.



Рис. 6.19. Примеры готовых кастомизированных конфет

Следующий *седьмой этап кастомизации* – выбор количества конфет (рисунк 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.

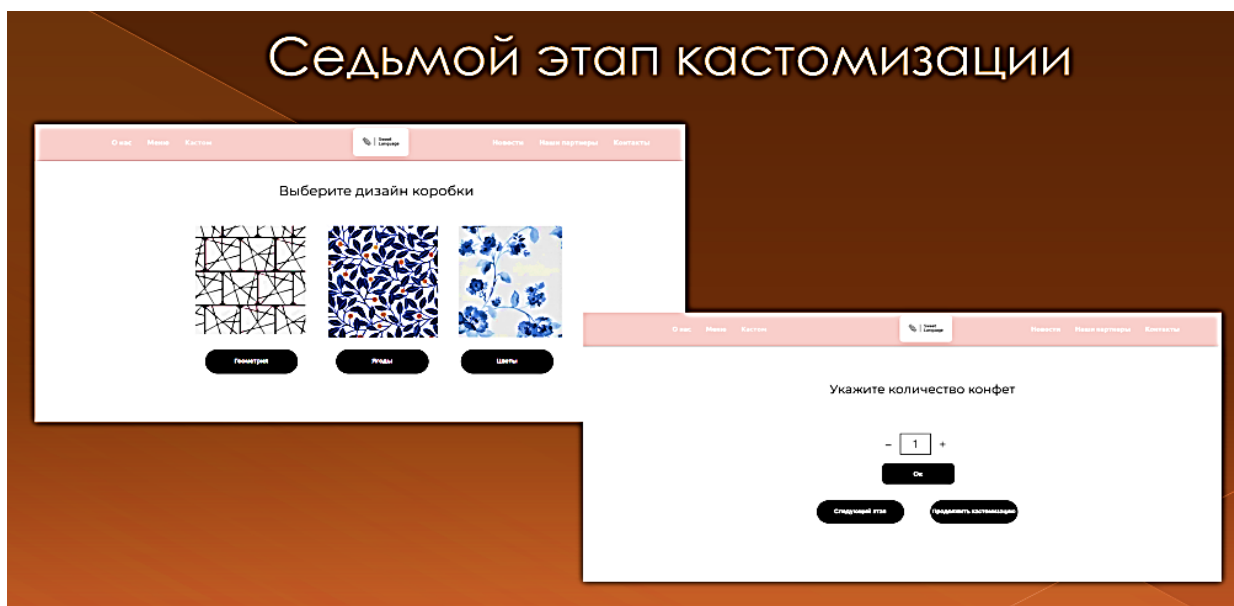


Рис. 6.20. Выбор количества конфет и дизайна коробки под них

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 различаются 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 нереляционных 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 6.21.

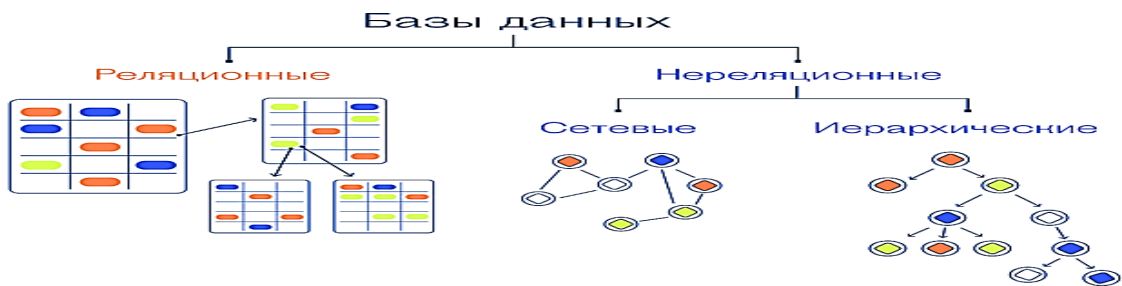


Рис. 6.21. Различие реляционных и нереляционных баз данных

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 целостность и анонимность сведений. На рисунке 6.22 показан пример работы СУБД.

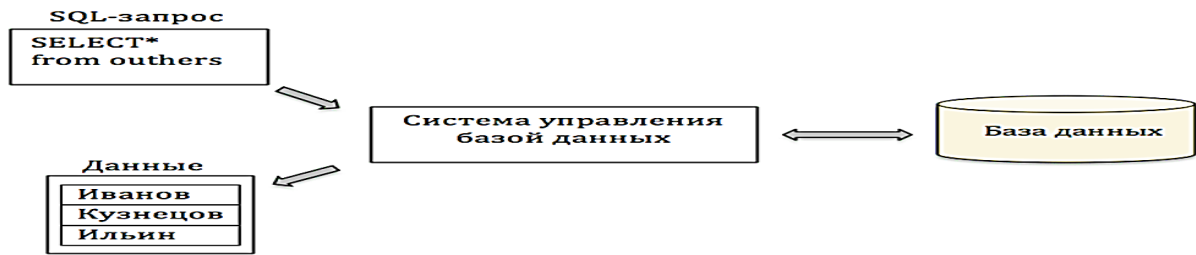


Рис. 6.22. Пример работы СУБД

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 применяется только как отдельный накопитель. Каждый пользователь сам использует информацию и вносит изменения в файлы данных и в индексные файлы. При больших объемах данных и работе во многопользовательском режиме сильно снижается быстродействие, ведь 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 для 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 встраиваемая 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 исход-

ным 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 поделить права 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 6.23 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.

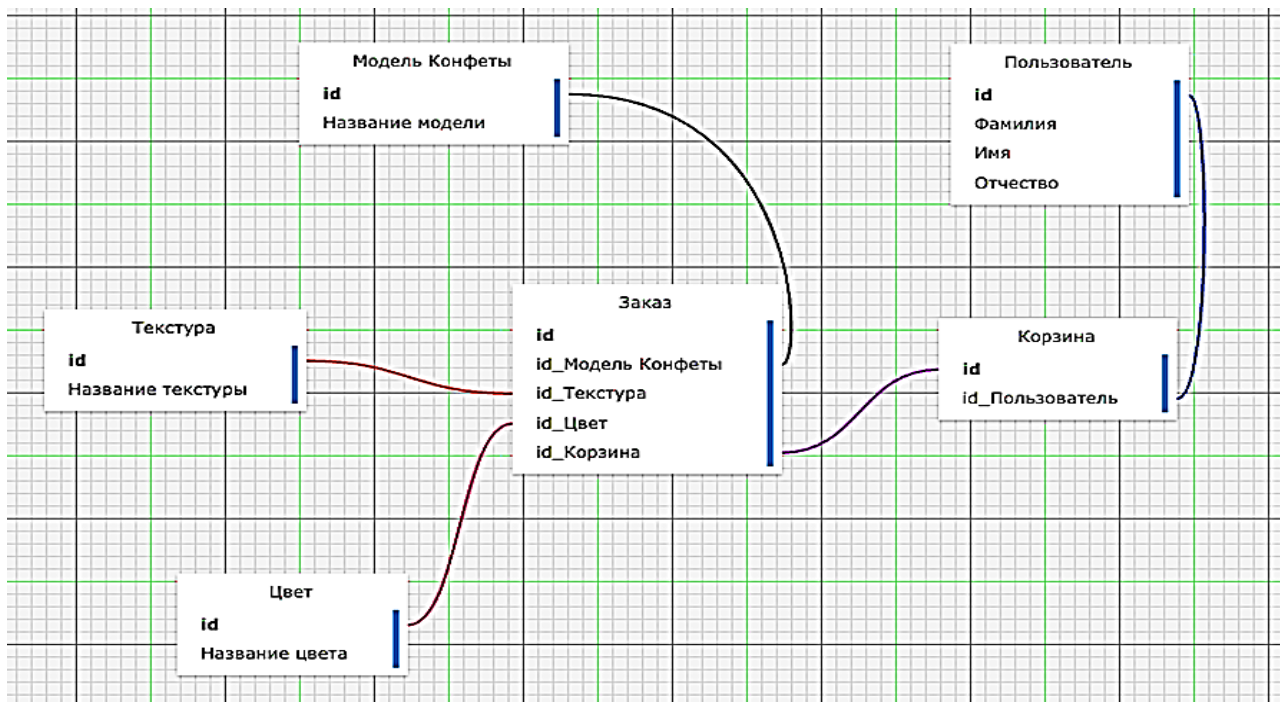


Рис. 6.23. ER-диаграмма базы данных платформы для кастомизации кондитерских изделий

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 аллергий 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.

Была разработана реляционная база данных (рисунок 6.24), структура которой основана на взаимосвязи четырех объектов:

- Element и связанные с ним Element_title Element_dimension Element_note
- Product_type и Product_type_id Title
- Product и его Id-product_type Id-element Product_title Product_note
- Product_element Id-product Id-element Quantity.

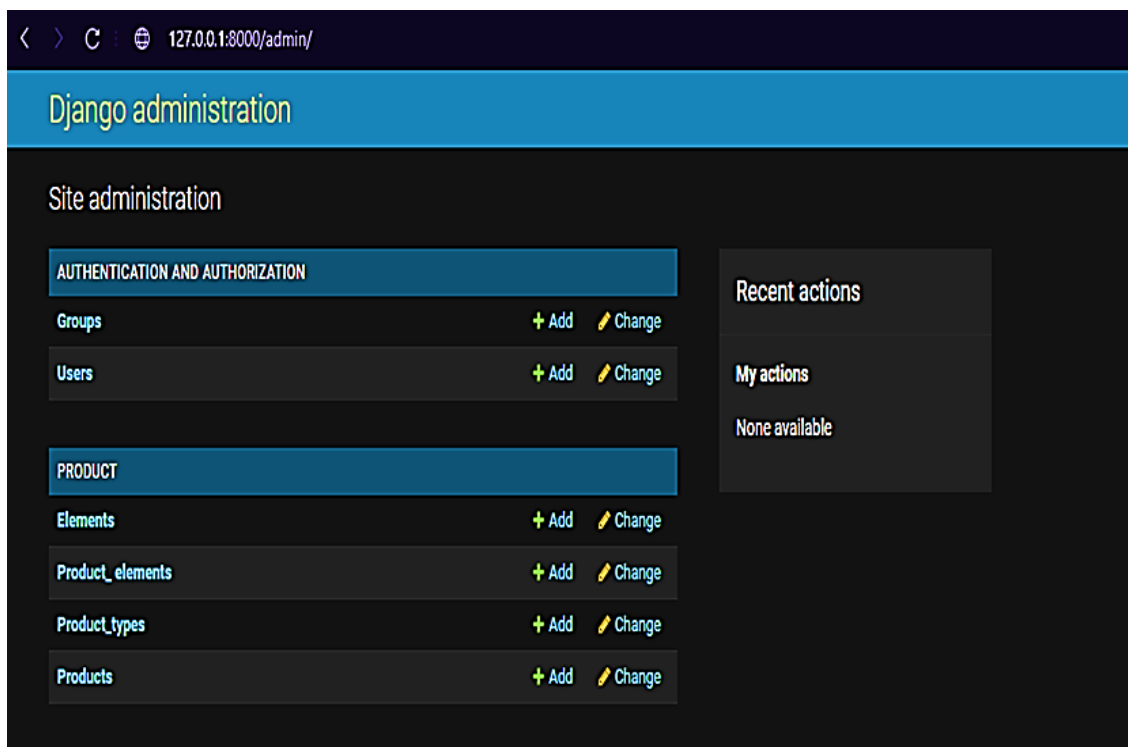


Рис. 6.24. База данных

В этой базе данных хранятся не только модели конфет, например:

- В поле Element находятся все названия наших файлов в базе данных.
- В Product находятся ссылки на нужные нам файлы.
- В Product_type будет формат файлов
- В Product_element расположен состав продукта и вся информация о нем

Трехмерные модели конфет будут храниться не в самой базе данных, а в папках. База данных будет содержать в себе путь к этим папкам.

Для работы внутри базы данных была создана экспертная система, которая помогает правильно обрабатывать данные внутри базы данных. На основе экспертной системы мы сможем более детально и эффективно делать анализ и расширять ассортимент кондитерских изделий и отдельных ингредиентов с минимальными рисками того, что данный выбор не реализуется коммерчески для потребителя. Устройство экспертной системы работает таким образом, что с каждым последующим использованием платформы для кастомизации, эта система становится все более точной. В перспективе такая технология является незаменимым инструментом. Подробное описание разработанной экспертной системы приведено в нашей статье [45].

После добавления трехмерной модели в базу данных (рисунок 6.25), запускаем локальный сервер и входим как администратор (рисунок 6.26).

Рис. 6.25. Добавление файла в базу данных

Рис.6.26. Панель входа

У каждой записи из таблицы «Модель конфеты» создается своя страница, на которую будут выводиться данные. Информация из других таблиц будет с ними связана.

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 совместной 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 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 открытым 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.

WordPress - фреймворк с открытым кодом и огромной популярностью, благодаря которой появилось множество плагинов, повышающих эффективность и удобство работы. Основное преимущество данного фреймворка - это редактор Gutenberg, который позволяет управлять содержанием веб-приложения с помощью визуально понятных панелей. Он работает по принципу связки: база данных плюс файловый блок. Верстка сайта не занимает много времени у разработчика, так в редакторе находятся готовые шаблоны. Интерфейс WordPress представлен на рисунке 6.27.

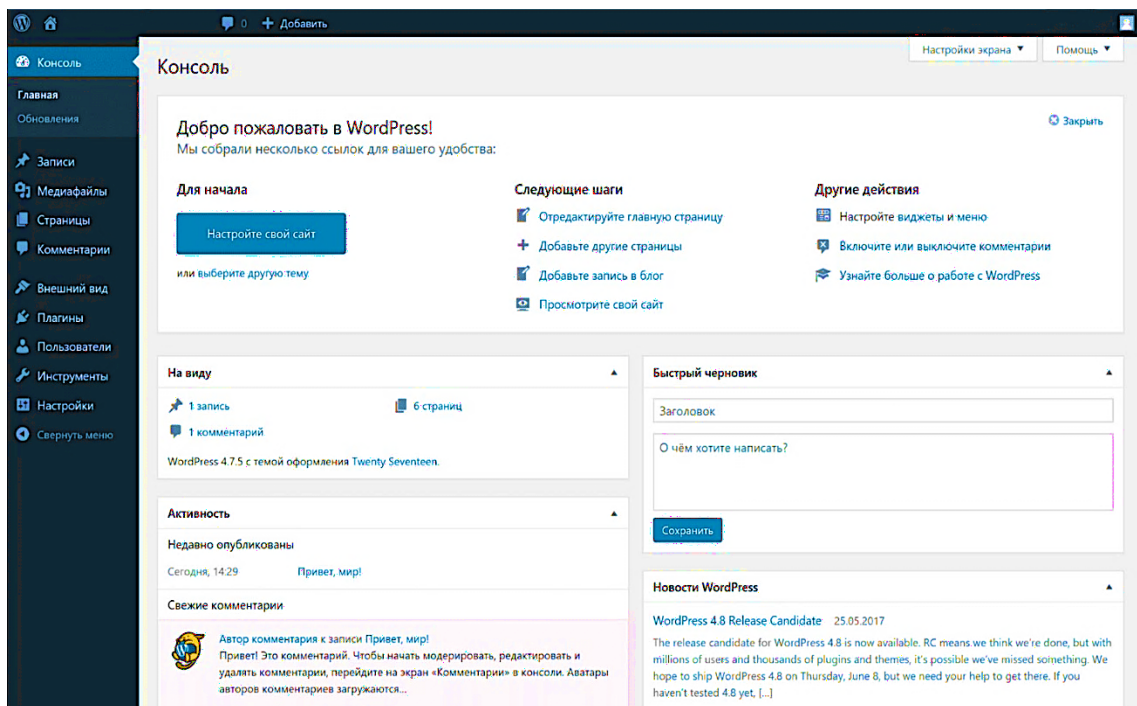


Рис.6.27. Интерфейс WordPress.

Но такие решения имеют отрицательные последствия, код сайта начинает загрязняться, создает лишние запросы серверу и базе данных.

WordPress собирает платформу из нескольких независимых кусков:

- **Контент.** Контент — это текст, картинки, название статей, теги, категории, описания статей и различные метаданные. Всё это хранится в БД.
- **Тема.** Тема — это программа, которая отвечает за вывод контента. Она решает, какой стиль подобрать, как оформить текст, во сколько колонок его вывести.

- Плагины. Плагины — это отдельные надстройки, которые отвечают за какое-то особое поведение: например, комментарии на сайте, кеширование или отображение цитат.
- База. Всем этим управляет база. Она отвечает за связь с сервером, технический вывод страниц, создание контента в текстовом редакторе, хранение и резервирование данных, вход по паролю, загрузку и обновление тем и т.д., это операционная система сайта.

Python django это универсальный Web фреймворк для написания безопасных и поддерживаемых сайтов с высоконагруженными системами и большим трафиком данных.

Django с момента запуска полностью подготовлен дополнительными возможностями и масштабируется. Это позволяет создавать Web-приложения, которые принимают на себя большой трафик и большие потоки информации. Также 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. Шаблоны представляют собой файлы с HTML-кодом, с помощью которого отображаются данные. Содержимое файлов может быть статическим или динамическим. Шаблоны не содержат бизнес-логики. Поэтому они только отображают данные.

Для работы с базой данных Django использует собственный ORM, в котором модель данных описывается классами Python, и по ней генерируется схема базы данных. Схема структуры model-view-controller представлена на рисунке 6.28.

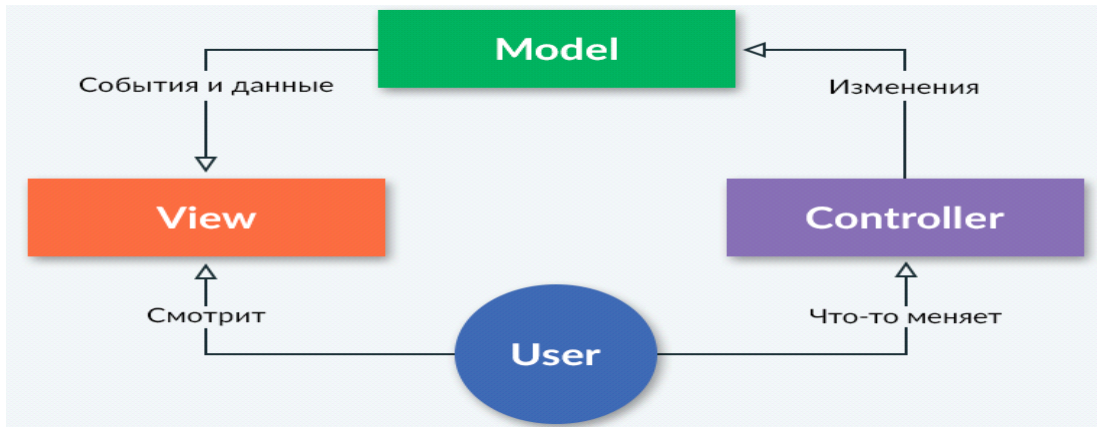


Рис.6.28. Схема структуры model-view-controller

Веб-приложения, написанные на Django, обычно группируют код, который обрабатывает каждый из этих шагов, в отдельные файлы:

Model (Модель) - получает сигналы от контроллера и перестраивает свое текущее 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. Оно запросит информацию из models, которую создали ранее, и передаст её в HTML.

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 результат.

Пользователи используют различные типы устройств и это нужно учитывать при создании веб-приложения. Предоставляемый интерфейс должен различаться, если запрос приходит с персонального компьютера 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.

Для создания облачной платформы с использованием фреймворка Django нам понадобилось скачать и установить python последней версии. После чего, была создана папка и использована в командной строке команда: `Pip`. Если выдан список всех доступных команд, то все установлено правильно, если нет, то придется переустановить python. Затем так же в командной строке прописываем: `Pip install Django`. На рисунке 6.29 показана установка Django.

И указываем путь к созданной папке с помощью команды: `Cd`.

Далее создаем сайт: `Django-admin startproject mysite`. И запускаем его: `py manage.py runserver`.

```

C:\Windows\system32\cmd.exe
--cache-dir <dir>          Store the cache data in <dir>.
--no-cache-dir            Disable the cache.
--disable-pip-version-check
                          Don't periodically check PyPI to determine whether a new version of pip is available for
                          download. Implied with --no-index.
--no-color                Suppress colored output.
--no-python-version-warning
                          Silence deprecation warnings for upcoming unsupported Pythons.
--use-feature <feature>  Enable new functionality, that may be backward incompatible.
--use-deprecated <feature>
                          Enable deprecated functionality, that will be removed in the future.

C:\Users\CookisS>pip install django
Collecting django
  Downloading Django-4.0.5-py3-none-any.whl (8.0 MB)
-----
                        8.0/8.0 MB 9.0 MB/s eta 0:00:00
Collecting tzdata
  Downloading tzdata-2022.1-py2.py3-none-any.whl (339 kB)
-----
                        339.5/339.5 KB 10.6 MB/s eta 0:00:00
Collecting sqlparse>=0.2.2
  Downloading sqlparse-0.4.2-py3-none-any.whl (42 kB)
-----
                        42.3/42.3 KB ? eta 0:00:00
Collecting asgiref<4,>=3.4.1
  Downloading asgiref-3.5.2-py3-none-any.whl (22 kB)
Installing collected packages: tzdata, sqlparse, asgiref, django
Successfully installed asgiref-3.5.2 django-4.0.5 sqlparse-0.4.2 tzdata-2022.1
WARNING: You are using pip version 22.0.4; however, version 22.1.2 is available.
You should consider upgrading via the 'C:\Users\CookisS\AppData\Local\Programs\Python\Python310\python.exe -m pip instal
l --upgrade pip' command.

C:\Users\CookisS>

```

Рис. 6.29. Установка Django

На рисунке 6.30 представлен запуск сервера.

```

C:\Windows\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [Version 10.0.17763.2928]
(c) Корпорация Майкрософт (Microsoft Corporation), 2018. Все права защищены.

C:\Users\CookisS>cd desktop
C:\Users\CookisS\Desktop>cd dip
C:\Users\CookisS\Desktop\dip>cd mysite
C:\Users\CookisS\Desktop\dip\mysite>python manage.py runserver

```

Рис.6.30. Запуск сервера

Так же создаем аккаунт администратора для доступа к базе данных командой: Python manage.py createsuperuser. И вписываем свой логин, почту, а также два раза пароль (рисунок 6.31).

```

C:\Users\CookisS\Desktop\dip\mysite>python manage.py createsuperuser
Username (leave blank to use 'cookiss'): cookiss
Email address: serga2022@mail.ru
Password:
Password (again):
This password is too short. It must contain at least 8 characters.
This password is entirely numeric.
Bypass password validation and create user anyway? [y/N]: n
Password:
Password (again):
Superuser created successfully.

C:\Users\CookisS\Desktop\dip\mysite>_

```

Рис. 6.31. Создание аккаунта

Для дальнейшей работы нам понадобился редактор кода. В данной работе был использован код visual studio code (рисунок 6.32).

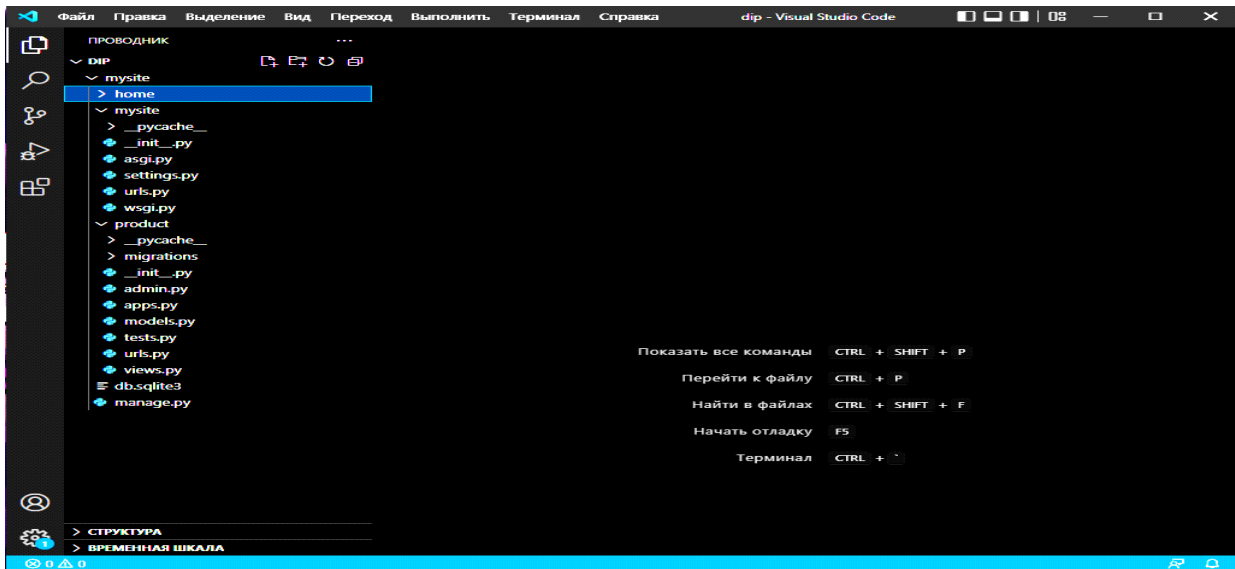


Рис.6.32 Интерфейс visual studio code

Для комфортной работы, в плагинах был установлен русский язык и написан код, по которому будет работать программа. После запуска сервера, в Visual studio code появляются каталоги, в которые записывают код программы, используя HTML — это язык разметки, он дает указания браузеру о том, как необходимо отображать веб-страницу. HTML состоит из ряда элементов, которые используются, чтобы вкладывать части визуализации и заставить объект отображаться. Под разметкой понимается написание в текст документа кода, который дает указания браузеру, как показывать веб-страницу. HTML код строится при помощи тегов. Эти теги представляют элементы разметки.

Разработанные модели содержат в себе всю информацию касательно данных, свойства списков, их размер, текст меток для форм и т. д. Вид модели не определяется основной БД. Можно выбрать один из нескольких компонентов настройки программы. Далее нужно написать код и структуру модели. Модели определяются в каталоге `models.py`. Они реализуются как подклассы `django.db.models.Model`.

Разработка облачной платформы для хранения и редактирования трехмерных моделей конфет является ключевым решением для кондитерских производств, стремящихся к инновациям и персонализации своих изделий.

Разработка такой платформы требует тщательного планирования и реализации множества функций, начиная от пользовательских интерфейсов для визуализации и редактирования моделей в реальном времени, до интеграции с производственными системами для автоматизации процесса создания кондитерских изделий по заданным параметрам. Ключевой особенностью платформы является её масштабируемость и гибкость, позволяющие легко адаптироваться к изменяющимся требованиям рынка и потребностям пользователей.

Разработка облачной платформы для хранения и редактирования цифровых трехмерных моделей кастомизированных конфет оптимизирует работу с трехмерными моделями конфет, включая их формы, текстуры, цвета и потенциальные вкусовые характеристики.

Используя облачные технологии, платформа обеспечивает доступ к трехмерным моделям конфет в любое время и с любого устройства, что значительно упрощает процесс совместной работы и сокращает время, необходимое для внесения изменений в продукт.

В основе платформы лежит продуманная база данных, 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. Это дает возможность не только более эффективно управлять существующими моделями, но и 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 САД-программами и системами управления производством, что делает её неотъемлемой частью производственного процесса 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 нынешнее 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 базы данных, куда приходит информация о клиенте и выборе кондитерского изделия, что автоматизирует такие процессы как анализ рынка, вкусы потребителя, особенные предпочтения и так далее. 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 [34]. То есть, если разбить создание платформы для кастомизации на этапы, это будет первоначальным этапом, где если не создается полноценный дизайн, то прорабатывается визуальная концепция всего сайта для последующей верстки. Так как это онлайн – редактор, вся информация о проделанной работе сохраняется в облачную базу данных, 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 не более один человек создает проект. Совместное создание проектов возможно при оформлении подписки на данный ресурс.

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 сочетания между собой. Главным преимуществом данной платформы является автоматическая адаптация информации под мобильную версию. Также доступен предпросмотр проектов и множество графических фишек, работающих на базе CSS языка программирования. 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. Простой код HTML здесь будет занимать в 5-10 раз больше памяти, чем сайт,

который изначально написан на коде. К тому же, при редактировании таких сайтов с помощью кода, будет легче переписать его заново, чем исправлять - код от сайтов-конструкторов плохо расшифровывается редакторами кода. О подключении платежных систем можно даже не говорить, использовать платежную систему можно лишь ту, которую предоставит сайт-конструктор. 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 файл в формате «.html» и дальнейшей его расшифровке. Язык гипертекстовой разметки считается наиболее понятным и простым языком, начинающие веб-разработчики проходят свое обучение, как правило, именно с этого языка [144].

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. По уровню сложности 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 базы данных, 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 базами данных, таких как Django и Flask. Также является объектно-ориентированным языком программирования и преследует задачу повышения производительности разработчика. Основными недостатками в сравнении с другими «back-end» языками можно выделить более низкую 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. Разработанный компанией Microsoft для операционных систем Windows, Linux и MacOS, имеет в себе отладчик, подсветку синтаксиса, инструменты для работы с «Git». 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 6.33 (1 страница) и 6.34 (2 страница).



Рис. 6.33. Прототип дизайна сайта. Первая страница



Рис. 6.34. Прототип дизайна сайта. Вторая страница

Учитывая анализ достоинств и недостатки разработанного первого прототипа конфигуратора, а также визуальную составляющую данного сайта, было принято решение продолжить работу далее и улучшить дизайн полученного сайта. Исходя из логики работы сайта конструктора, можно констатировать, 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 принято решение изменить первоначальную концепцию и сделать платформу для кастомизации кондитерских изделий без главного интерфейса. Теперь, каждый новый этап представляется перед пользователем в новом окне сайта. Такой метод оказался более удобным для пользователя 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 6.35.

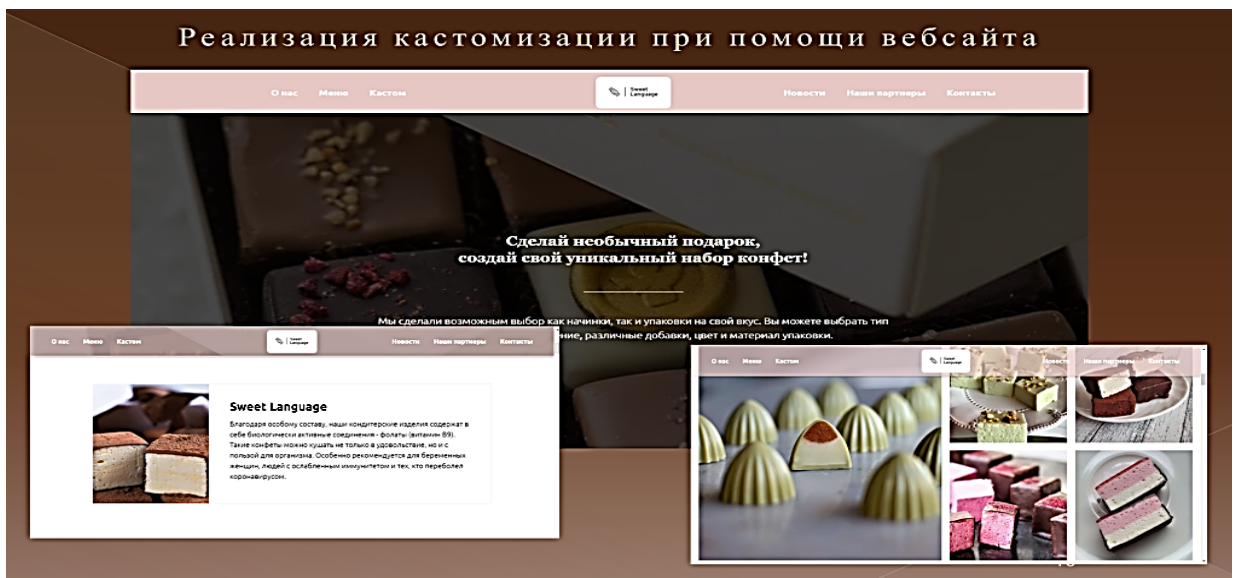


Рис. 6.35. Дизайн главных страниц вебсайта

После перехода в раздел «Кастом», пользователь обучается с помощью инструкции, как работать с платформой для кастомизации (рисунок 6.36). После этого, ему становится доступным первый этап.

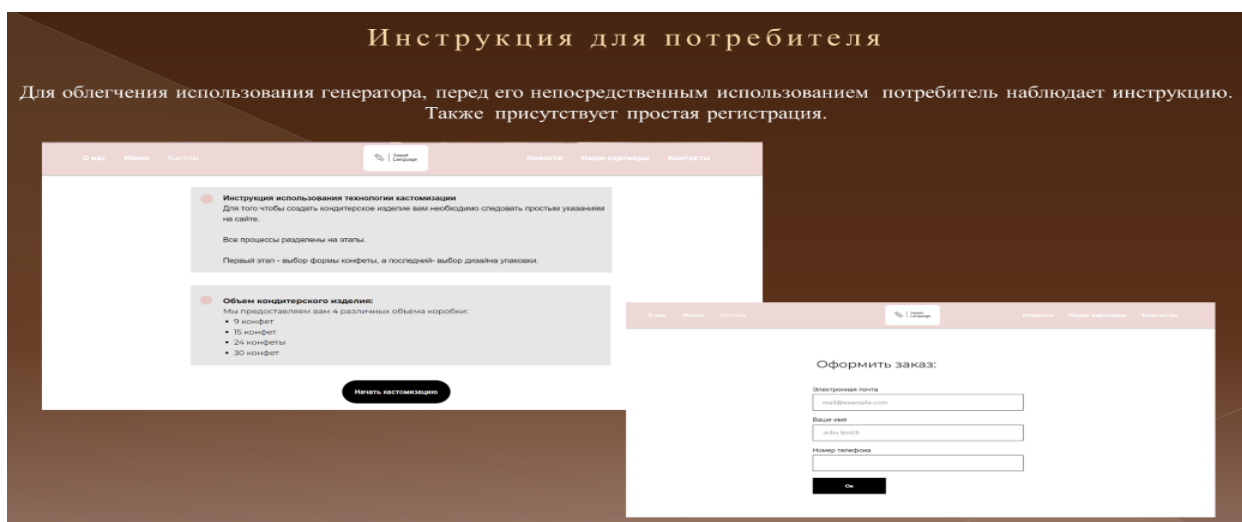


Рис. 6.36. Инструкция по работе с платформой для кастомизации

Для решения практических задач сначала необходимо установить Python, CSS и HTML. Также необходимо добавить определенные расширения в текстовый редактор Visual Studio Code, в котором мы будем писать сам код.

После этого устанавливаем в терминале редактора фреймворк Django. Для этого нужно вписать в терминале команду «`pip install django`» (рисунок 6.37):

```
PS C:\Users\OG\OneDrive\Рабочий стол\Test> pip install django
Requirement already satisfied: django in c:\users\og\appdata\local\programs\python\python39\lib\site-packages (4.0.3)
Requirement already satisfied: tzdata; sys_platform == "win32" in c:\users\og\appdata\local\programs\python\python39\lib\site-packages (from d
jango) (2022.1)
Requirement already satisfied: asgiref<4,>=3.4.1 in c:\users\og\appdata\local\programs\python\python39\lib\site-packages (from django) (3.5.0)
Requirement already satisfied: sqlparse>=0.2.2 in c:\users\og\appdata\local\programs\python\python39\lib\site-packages (from django) (0.4.2)
WARNING: You are using pip version 20.2.3; however, version 22.1.2 is available.
You should consider upgrading via the 'c:\users\og\appdata\local\programs\python\python39\python.exe -m pip install --upgrade pip' command.
PS C:\Users\OG\OneDrive\Рабочий стол\Test> |
```

Рис. 6.37. Установка фреймворка Django

Далее был создан новый проект на основе Django – была прописана команда в терминале ‘start project’ и название проекта. После успешного завершения всех этих действий, можно увидеть, что внутри проекта добавилось много разных файлов, которые составляют основную структуру нашего вебсайта. В каждой папке будут определенные данные которые будут отвечать за свои функции на сайте. На рисунке 6.38 показана основная структура сайта.

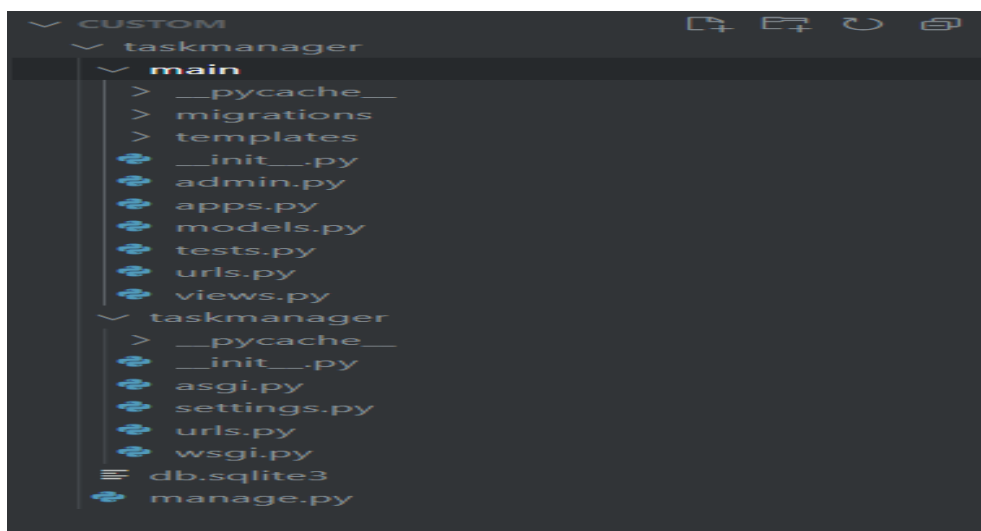


Рис. 6.38. Основная структура сайта

Благодаря файлу «`manage.py`», можно выполнять различные действия внутри проекта. С помощью него был затем запущен локальный сервер, где создавались различные необходимые файлы путем обращения команд к этому

файлу. Также была создана дополнительная папка «taskmanager», которая внутри включает в себя различные файлы с настройками: например «urls.py», помогающая правильно ориентировать клиента внутри сайта и менять веб-страницы с разной информацией. В файле «settings.py» прописаны все глобальные настройки нашего проекта и секретный ключ.

Чтобы перейти на локальный сервер нужно ввести в терминал пароль: «python manage.py runserver». Django представляет каждую категорию сайта в виде приложения, где формируется определенная папка, в которой каждый файл отвечает за определенный набор функций. С помощью команды «python startapp main» было создано специальное приложение, в котором и происходила дальнейшая работа. При этом в «settings.py» было занесено название этого приложения в блок «Installed_Apps» для того, чтобы это приложение могло работать. Далее осуществлялась работа с HTML-кодом. Была написана главная страница сайта, шапка и основные кнопки сайта. Параллельно создавался CSS-файл, в котором будет храниться код шапки сайта в HTML (рисунок 6.39).

```

1  {% extends 'main/base.html' %}
2
3  {% block title %}
4  Страница про нас
5  {% endblock %}
6
7  {% block content %}
8  <div id="rec454754412" class="r t-rec"
9  style="background-color: #e0e0e0;
10  " data-animationappear="off"
11  data-record-type="454"
12  data-bg-color="#e0e0e0"><!-- T454 -->
13  <div id="nav454754412marker">
14  </div>
15  <div class="t454_mobile t454_opened">
16  <div class="t454_mobile_container">
17  <div class="t454_mobile_text t-name t-name_md" field="text">
18  | &nbsp;
19  </div>
20  <div class="t454_burger">
21  <span></span>
22  <span></span>
23  <span></span>
24  <span></span>
25  </div> </div>
26  </div><div id="nav454754412" class="t454 t454_hidden t454_positionfixed "
27  style="background-color: #rgb(230, 199, 196);
28  height: 80px;
29  box-shadow: 0px 0px 0px 0px 0px 0px 0px 0px 0px 0px 0px 0px 0px 0px 0px 0px 0px 0px 0px 0px;
30  display: block;"
31  data-bg-color-hex="#e6c7c4"
32  data-bg-color-rgba="rgb(230,199,196,1)"
33  data-navmarker="nav454754412marker"
34  data-appearoffset=""
35  data-bgopacity-two="70"
36  data-menushadow="40"
37  data-bgopacity="1"
38  data-bg-color-rgba-afterscroll="rgb(230,199,196,0.70)"
39  data-menu="yes"
40  data-bg-color-setbyscript="yes">
41  <div class="t454_maincontainer t454_c12columns" style="height:80px;">
42  <div class="t454_logowrapper">
43  <div class="t454_logowrapper2">
44  <div style="display: block;">
45  <a href="https://google.com" style="color: #ffffff;">
46   main > views.py > ...
1  from django.shortcuts import render
2  from django.http import HttpResponse
3
4
5  def index(request):
6      return render(request, 'main/index.html')
7
8
9  def about(request):
10     return render(request, 'main/about.html')
11
12
13  def feedback(request):
14     return render(request, 'main/feedback.html')
15
16
17  def prices(request):
18     return render(request, 'main/prices.html')
19
20  def generator(request):
21     return render(request, 'main/generator.html')
22
```

Рисунок 6.41. Функции перехода со страницы на страницу

Код дизайна шапки профиля CCS представлен на рисунке 6.42.

```

1  body{
2  padding: 20px;
3  }
4  }
5  }
6  @media screen and (max-width: 980px) {
7  #rec454754412 .t454__imglogo{
8  padding: 20px 0;
9  }
10 }
11 }
12 }
13 }
14 }
15 }
16 }
17 }
18 }
19 }
20 }
21 }
22 }
23 }
24 }
25 }
26 }
27 }
28 }
29 }
30 }
31 }
32 }
33 }
34 }
35 }
36 }
37 }
38 }
39 }
40 }
41 }
42 }
43 }
44 }
45 }
46 }
47 }

```

Рис. 6.42. Код CCS шапки профиля

Главная страница сайта в HTML коде показана на рисунке 6.43.

```

47  </div>
48  <div class="t-container"> <div class="t-cover_wrapper t-valign_middle" style="height:100vh;">
49  <div class="t032">
50  <div class="t032_wrapper" data-hook-content="covercontent">
51  <div class="t032_title t-title t-title_md" style="" field="title">
52  <div style="font-size:26px;" data-customstyle="yes">
53  <span style="font-family: Georgia;">Сделай необычный подарок,</span><br>
54  <span style="font-family: Georgia;">создай свой&nbsp;&nbsp;&nbsp;уникальный набор конфет!</span>
55  </div>
56  </div>
57  <div class="t-row">
58  <div class="t-col t-col_2 t-prefix_5">
59  <div class="t032_line" style="">
60  </div>
61  </div>
62  </div>
63  </div>
64  <div class="t-row">
65  <div class="t-col t-col_10 t-prefix_1">
66  <div class="t032_descr t-descr t-descr_lg" style="" field="descr">
67  <div style="font-size:18px;" data-customstyle="yes">
68  Мы сделали возможным выбор как начинки, так и упаковки на свой вкус.
69  Вы можете выбрать тип суфле, шоколад, украшение, различные добавки,
70  цвет и материал упаковки.
71  </div>
72  </div>
73  </div>
74  </div>
75  <span class="space"></span>
76  </div>
77  </div>
78  </div>
79  </div>
80  </div>
81  }
82  }
83  {% endblock %}

```

Рис. 6.43. Главная страница сайта в HTML

Поскольку платформа для кастомизации будет представлена в виде сайта, далее необходимо было написать код основной логики работы конфигуратора на Python, чтобы после регистрации пользователя, каждый его выбор запоминался и приходил в базу данных. Далее был создан свой отдельный массив с информацией о возможных вариантах выбора. Папка, куда будет собираться вся информация о пользователе, была названа «Библиотекой».

В процессе изменения технологии кондитерского изделия или добавления новых этапов и расширения кастомизации, массив можно будет легко изменить, добавить или удалить.

Первая функция служит общим сборником информации в массиве. Поэтому данная функция является важным элементом всего кода:

1. 'self.customer' - изначально является пустым массивом, в который будет постепенно попадать информация от пользователя с его данными.
2. 'self.forms' - это массив с нашими актуальными формами для кондитерских изделий, параллельно с расширением производства этот массив будет увеличиваться.
3. 'self.inside' – массив с возможными начинками для конфет. Несмотря на тот факт, что человек на сайте фактически сталкивается с этим этапом дважды, достаточно одной такой функции, чтобы в следующий раз просто к ней возвращаться.
4. 'self.chocolate' – массив с возможностью выбора шоколада для глазирования кондитерского изделия. Если обратить внимание на массив с белым шоколадом, можно заметить, что у него присутствует еще один массив, и выглядит это все как массив в массиве, так как белому шоколаду с помощью пищевых красителей можно придать другой цвет.
5. 'self.decoration' – массив с вариантами украшений.
6. 'self.candyquantity' – массив для сохранения количества конфет, которое указал пользователь. Изначально этот массив является пустым.
7. 'self.boxx' – массив с возможными вариантами дизайна упаковки.

Также были импортированы расширения 'os', 'glob', 'shutil', 'array'.

В последующих шагах и в других функциях необходимо обращаться к различным массивам и их информации. Функция для регистрации пользователя представлена на рисунке 6.44.

```

21
22     def create_customer(self, customer_name):
23         try:
24             if customer_name not in self.customer:
25                 os.mkdir('lib/')
26                 self.x = len(glob.glob('lib/*'))
27                 os.mkdir('lib/' + customer_name)
28                 self.books.append(customer_name)
29                 print('Ваши ФИО указано.')
30
31                 file = open('lib/' + customer_name + '/info.txt', 'w', encoding = 'utf-8')
32                 file.write('id:' + str(self.x) + '\n')
33                 file.close()
34         except FileExistsError:
35             print('Такой пользователь уже есть.')
36

```

Рис. 6.44. Функция для регистрации пользователя

Данная функция позволяет нам указать пользователю свои данные и занести их в базу. При этом создается отдельный документ в директории «lib/ФИО», в который будут заноситься уже следующие этапы (рисунок 6.45).

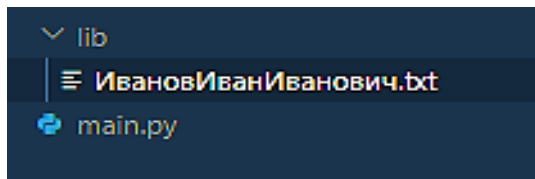


Рис. 6.45. Директория «lib/ФИО»

Также нужно отметить, что зарегистрированный пользователь повторно не сможет пройти регистрацию, в таком случае код выдаст ошибку.

Следующий этап – функция внесения номера телефона пользователем. Теперь эти данные уже будут вноситься внутри самого документа (рисунок 6.47), начиная с первой строки. Здесь присутствует возможный вариант того, что пользователь уже регистрировался ранее, в таком случае его также ждет ошибка.

```

def add_number(self, customer_number):
    folder = os.walk('lib/')
    try:
        for x in folder:
            if customer_number not in self.customer:
                y = len(glob.glob('lib/' + '/' + customer_number))
                add_chap = open('lib/' + '/' + '/' + 'info.txt', 'a', encoding = 'utf-8')
                add_chap.write(str(y) + ', ')
                add_chap.close()

                new_chap = open('lib/' + '/' + '/' + str(customer_number) + '.txt', 'w', encoding = 'utf - 8')
                new_chap.write(input('Укажите ваш номер:\n'))
                new_chap.close()
    except FileExistsError:
        print('Такой номер уже зарегистрирован')

```

Рис. 6.46. Функция внесения номера телефона пользователем

На рисунке 6.47 показана функция выбора формы кондитерского изделия.

```
def choose_form(self, choosen_form):
    print (self.forms)
    try:
        if choosen_form in self.forms:
            add_custom_form = open('lib/' + '\n'+'/info.txt', 'a', encoding = 'utf-8')
            add_custom_form.write(str() + ',')
            add_custom_form.close
        except FileExistsError:
            print('Такой формы кондитерского изделия не существует')
```

Рис. 6.47. Функция выбора формы кондитерского изделия

Данная функция предлагает, исходя из данных своего массива (команда 'print(self.forms)'), возможные варианты формы для кондитерского изделия, а затем, данные записываются в базу (строчки 57, 58, 59). Если пользователь захочет несуществующую начинку, ему высветится ошибка.

Функция выбора начинки кондитерского изделия показана на рисунке 6.48.

```
64 def choose_inside(self, choosen_inside):
65     print (self.inside)
66     try:
67         if choosen_inside in self.inside:
68             add_custom_inside = open('lib/' + '\n' + '\n'+'/info.txt', 'a', encoding = 'utf-8')
69             add_custom_inside.write(str() + ',')
70             add_custom_inside.close
71         except FileExistsError:
72             print('Данная начинка отсутствует')
```

Рис. 6.48 Функция выбора начинки кондитерского изделия

Здесь пользователь выбирает из массива предложенных начинок ту, которая ему нравится. Затем она отправляется в базу данных.

На рисунке 6.49 показана на сайте функция выбора шоколада для глазирования кондитерского изделия.

```
def choose_chocolate(self, choosen_chocolate):
    print (self.chocolate)
    try:
        if choosen_chocolate in self.chocolate:
            add_custom_chocolate = open('lib/' + '\n' + '\n'+ '\n'+ '/info.txt', 'a', encoding = 'utf-8')
            add_custom_chocolate.write(str() + ',')
            add_custom_chocolate.close
        elif choosen_chocolate in self.chocolate['Белый']:
            print (self.chocolate['Белый'])
            add_custom_chocolate = open('lib/' + '/info.txt', 'a', encoding = 'utf-8')
            add_custom_chocolate.write(str() + ',')
            add_custom_chocolate.close
        except FileExistsError:
            print('Данного шоколада у нас нет')
```

Рис. 6.49. Функция выбора шоколада для глазирования кондитерского изделия

Данная функция отличается наличием двойного массива внутри белого шоколада. Помимо того, что пользователь выбирает вначале три вида шоколада, в разделе белый шоколад его ждет возможность выбора любого цвета (рисунок 6.49). Все эти данные заносятся в базу, каждое новое значение печатается с новой строки.

На рисунке 6.50 показана функция выбора декора кондитерского изделия.

```

9
10 def choose_decoration(self, choosen_decoration):
11     print (self.inside)
12     try:
13         if choosen_decoration in self.inside:
14             add_custom_decor = open('lib/' + '\n' + '\n' + '\n' + '\n' + '/info.txt', 'a', encoding = 'utf-8')
15             add_custom_decor.write(str() + ',')
16             add_custom_decor.close
17     except FileExistsError:
18         print( "Данное украшение отсутствует" )

```

Рис. 6.50 Функция выбора декора для продукта

Функция выбора украшений ничем не отличается от других простых этапов. Данные также уходят в БД на новую строчку.

На рисунке 6.51 показана функция выбора количества кондитерских изделий и выбор дизайна.

```

def choose_quantity(self, choosen_quantity, choosen_boxx):
print('Вам доступны упаковки по 9/15/24/30 шт конфет. Какую выберете?')
try:
    if choosen_boxx in self.boxx:
        add_custom_boxx = open('lib/' + '\n' + '\n' + '\n' + '\n' + '/info.txt', 'a', encoding = 'utf-8')
        add_custom_boxx.write(str() + ',')
        add_custom_boxx.close
    except FileExistsError:
        print ('Данного объема коробки не существует')

```

Рис. 6.51. Функция выбора количества кондитерских изделий и выбор дизайна

Здесь две функции совмещены в одну. И пользователь вводит сразу количество конфет и пример дизайна обложки. Для того чтобы человек не смог выбрать отрицательное или слишком большое число кондитерских изделий, вводится функция по ограничению вводимого числа (рисунок 6.52).

```

def clamp(n, min1, max30):
    if n < min1:
        return min1
    elif n > max30:
        return max30
    else:
        return n

```

Рис. 6.52. Функция по ограничению вводимого числа

Здесь минимальным значением берется число 1, а максимальное 30. Пользователь сможет выбрать количество от 1 до 30, так как это минимально допустимое значение конфеты одного сорта в коробке, соответственно 30 – максимальное. Если пользователь указал больше или меньше допустимого интервала, функция подбирает максимально возможное число как в отрицательную форму, так и в положительную.

Также была написана структура последовательных действий для терминала, которая подсказывает пользователю возможные варианты выбора действий.

В процессе разработки Web-сайта особое внимание было уделено правильности попадания команд в базу данных (рисунок 6.53).

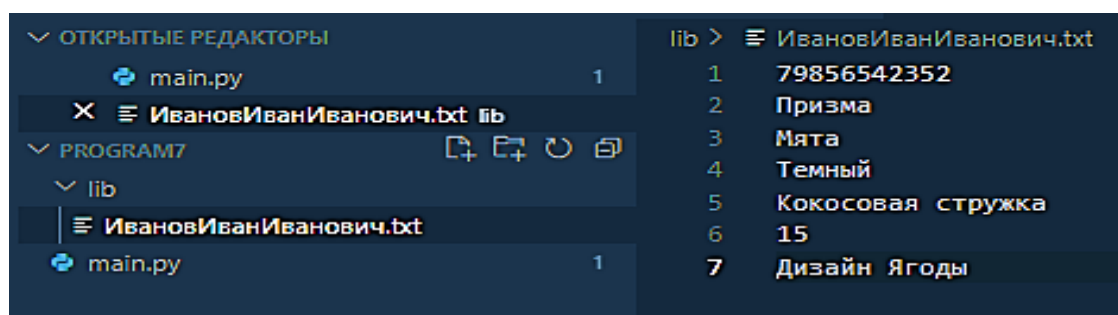


Рис. 6.53. База данных

Был спроектирован и разработан веб-сайт на основе HTML, CSS и Python кода. Создание веб-сайта с функцией кастомизации кондитерского изделия отвечает нарастающему спросу потребителей на уникальные и персонализированные продукты. Платформа предоставляет пользователям инструменты, позволяющие им самостоятельно выбирать форму, размер, вкусовые качества и цветовое оформление кондитерских изделий, делая процесс заказа интерактивным и лично значимым.

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 о 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 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, 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 нишевой 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 создание эскизов новых изделий и перевод их в цифровую форму с помощью специализированного программного обеспечения для 3D-моделирования. На этом этапе предлагается использование для дизайна таких программ, как Autodesk 3ds Max, Maya или Blender. Проиллюстрирована наибольшая перспективность применения программы Blender для создания точных цифровых трехмерных моделей создаваемых конфет. На основе реальных персонализированных конфет созданы цифровые трехмерные модели.

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

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

- Выбрана подходящая среда для разработки облачной платформы для хранения и редактирования трехмерных моделей конфет. Для создания облачной платформы выбран фреймворк Django, предоставляющий возможность быстрого создания администраторской панели и подключения любой базы данных, а также имеющий различные шаблоны и плагины для автоматизации работы платформы. Создан прототип рабочей облачной платформы для хранения и редактирования трехмерных моделей конфет и продвижения кондитерских изделий. Разработан

интерфейс платформы, позволяющий легко переходить от одной операции к другой. Разработанная облачная платформа может быть интегрирована с различными САД-программами и системами управления производством. Предлагаемая облачная платформа опирается на технические средства, которые позволяют решить поставленные технические задачи, являются доступными и имеют доступное программное обеспечение.

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

- Разработано информативное Веб-приложение для продвижения кондитерских изделий с учетом удобства пользователей, который дополнен информативным и легко доступным контентом. Представлены ключевые функции такого приложения.

- Раскрыты тенденции кастомизации кондитерской индустрии в будущем.

ГЛАВА 7. ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ КОНДИТЕРСКОЙ ПРОДУКЦИИ

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 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;
- автоматический контроль полуфабрикатов (цвет, консистенция, вязкость) на основе наблюдения (мониторинга) информации, поступающей в режиме реального времени;
- автоматический выходной контроль готовых кондитерской продукции (внешний вид и т.д.) на основе наблюдения (мониторинга) информации, поступающей в режиме реального времени;
- мониторинг технологических и режимных параметров ТП производства кондитерской продукции (продолжительные измерения и контроль с архивированием полученной информации);
- контроль соблюдения существующих на кондитерских предприятиях параметров качества сырья, полуфабрикатов и готовых кондитерских 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 кондитерской продукции для предотвращения выпуска предприятием 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 ИАСУ 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 интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством 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.

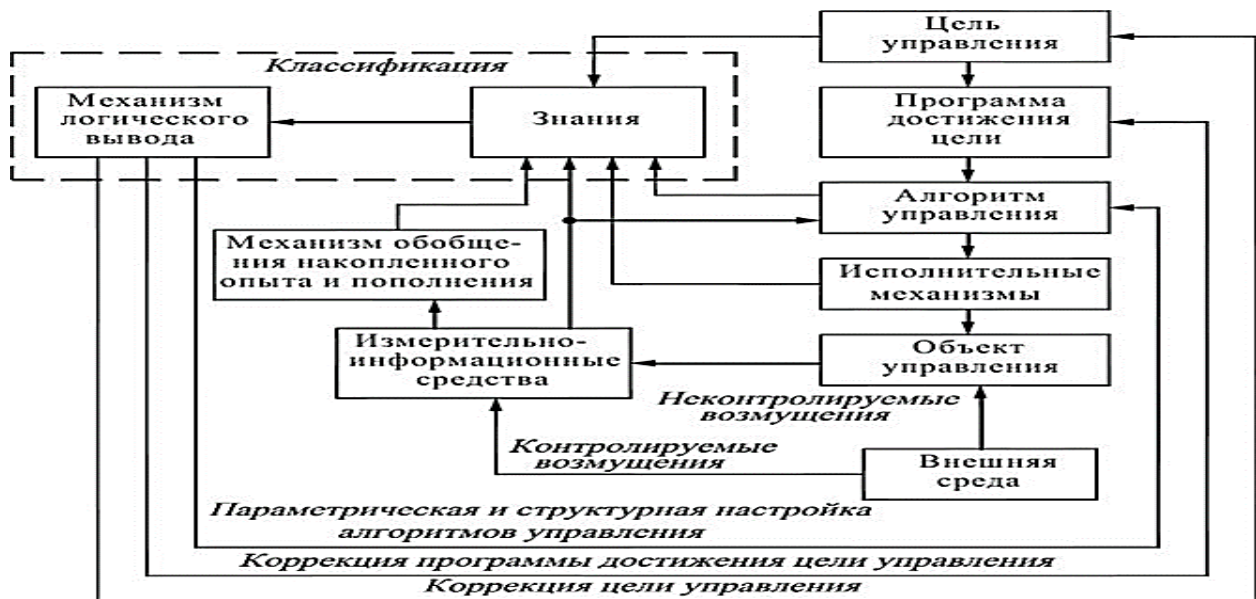


Рис. 7.1 Схема работы ИАСКиУК

Совместно функционирующие ОУ и управляющая им ИАСКиУК образуют интеллектуальный автоматизированный технологический комплекс.

ИАСКиУК кондитерской продукции представляет собой систему 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 технологического процесса производства кондитерской продукции.

В состав ИАСКиУК определенной 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 интеллектуальная автоматизированная система контроля и управления качеством 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 процесса этого производства; управление режимными параметрами используемого оборудования; адаптивное управление линией производства кондитерской продукции определенного вида в целом.

Система управления 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 интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кондитерской продукции относится мониторинг 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.

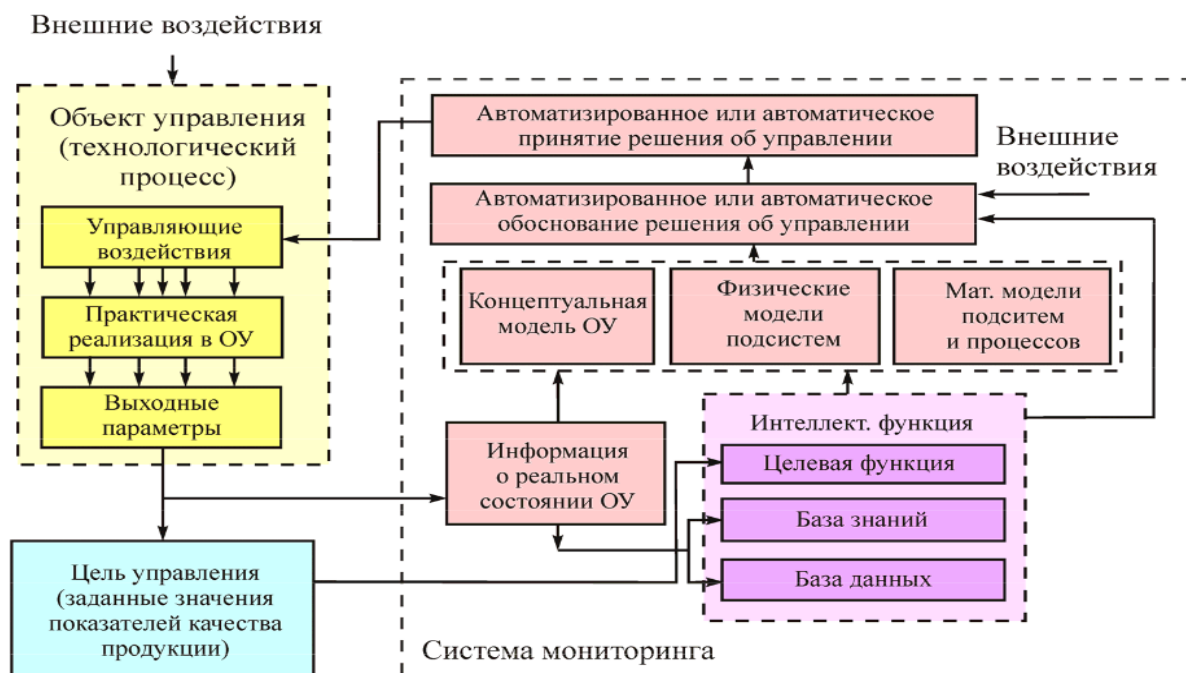


Рис. 7.2. Функциональная структура ИАСКиУК кондитерской продукции

Как показал анализ функциональной структуры ИАСКиУК, одной из важнейших задач, которые решает интеллектуальная система управления качеством кондитерской продукции в процессе производства является количественное оценивание в режиме онлайн основных органолептических параметров качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий в процессе производства этой продукции, что возможно при автоматизации контроля этих органолептических параметров качества в потоке с использованием необходимых для этого интеллектуальных технологий.

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.

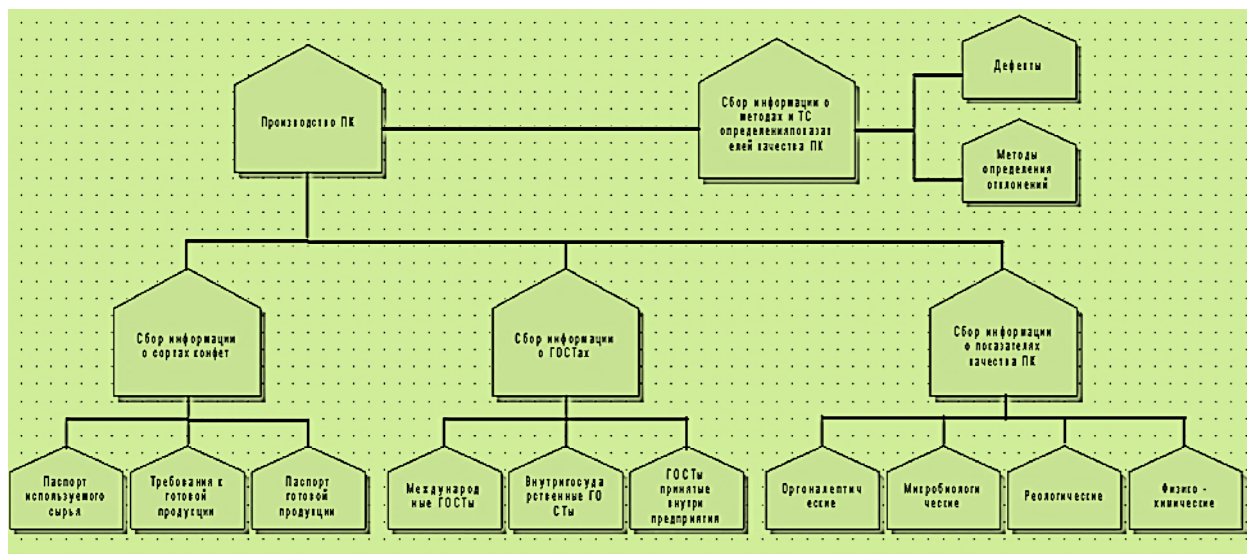


Рис. 7.3. Модель- дерево целей БД ИАСКиУК кондитерской продукции

Для создания БД ИАСКиУК были использованы результаты проведенных нами исследований ТП производства различных изделий. На рисунке 7.4 представлены существующие взаимосвязи в БД, что позволяет автоматизировать их обработку.

Построенная БД может функционировать самостоятельно или быть интегрированной 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.

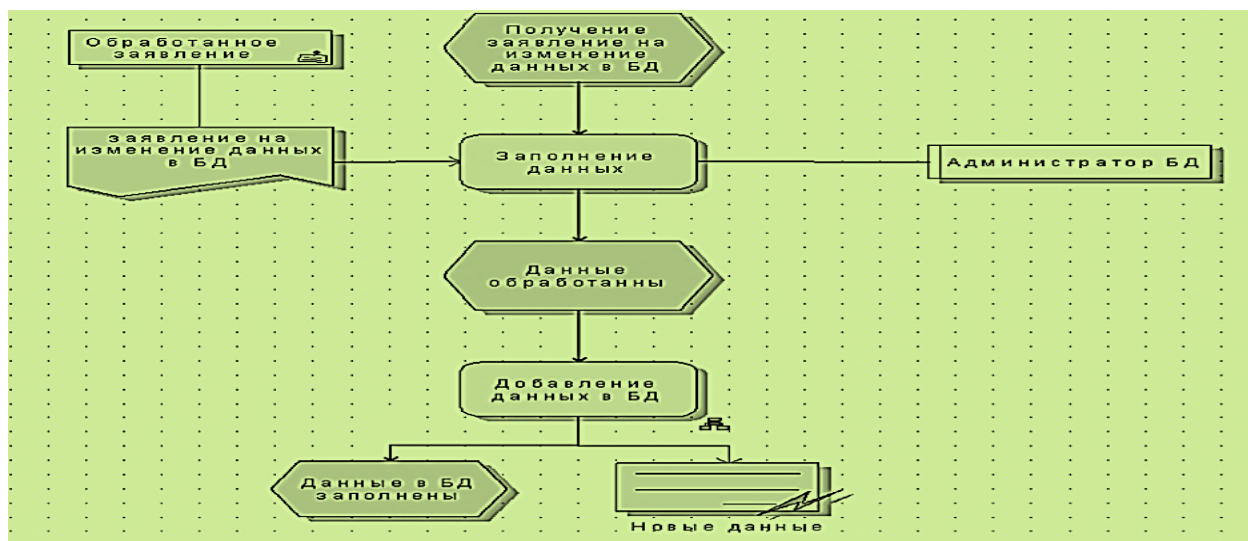


Рис. 7.4. Диаграмма изображения существующих в БД взаимосвязей

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, связан-

ного 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 пищевых 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 база знаний 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.

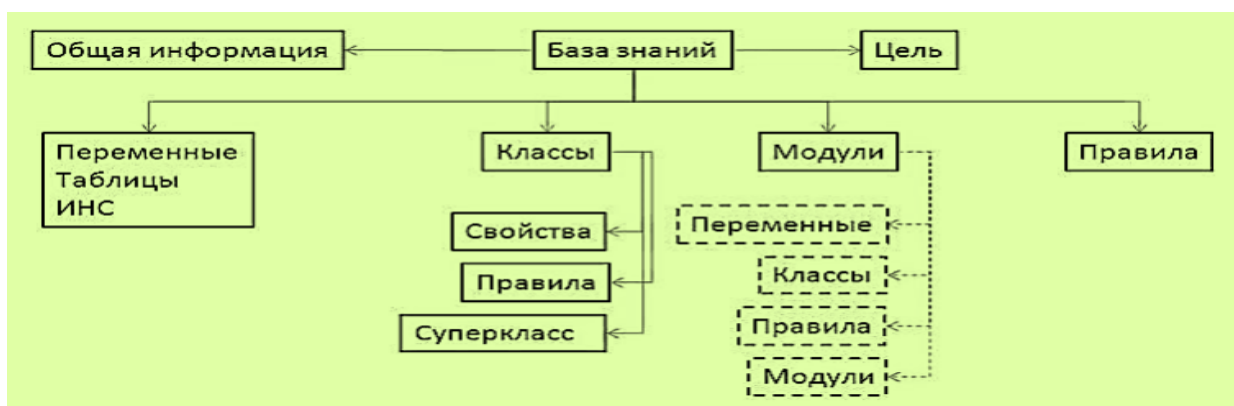


Рис. 7.5 Структура базы знаний

Был проведен выбор функционала БЗ. Наполнение базы знаний реализовывалось на языке представления знаний системы ИНТЕР-ЭКСПЕРТ GURU средствами: автоматического извлечения знаний из БД; методом прямого извлечения знаний из экспертов.

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 интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кондитерской продукции была составлена схема решения первоочередных задач моделирования и оптимизации в управлении качеством кондитерских изделий (рисунок 7.6).



Рис. 7.6 Схема решения первоочередных задач моделирования и оптимизации в управлении качеством кондитерской продукции

Показана первоочередная необходимость создания единого информационного пространства для описания всех этапов и всего производства 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:

- построения структурно- параметрических, математических, ситуационных и имитационных моделей моделей качества на каждом этапе производства определенного вида кондитерской продукции (что было сделано нами 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 халвы);
- оптимизация модели качества (такая работа также была проведена и модель качества, и ситуационная модель качества халвы 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.

7.3.3. Программная инфраструктура обеспечения ИАСКиУК кондитерской продукции

Программная инфраструктура обеспечения интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кондитерской продукции, представленная на рисунке 7.7, представляет собой совокупность инструментальных средств, которые обеспечивают необходимое качество готовой кондитерской продукции и выполняют следующие функции:

- Исследование полученных производственных показателей.
- Для каждой кондитерской продукции моделирование схем производства и выбор из них наиболее рациональной.
- 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.

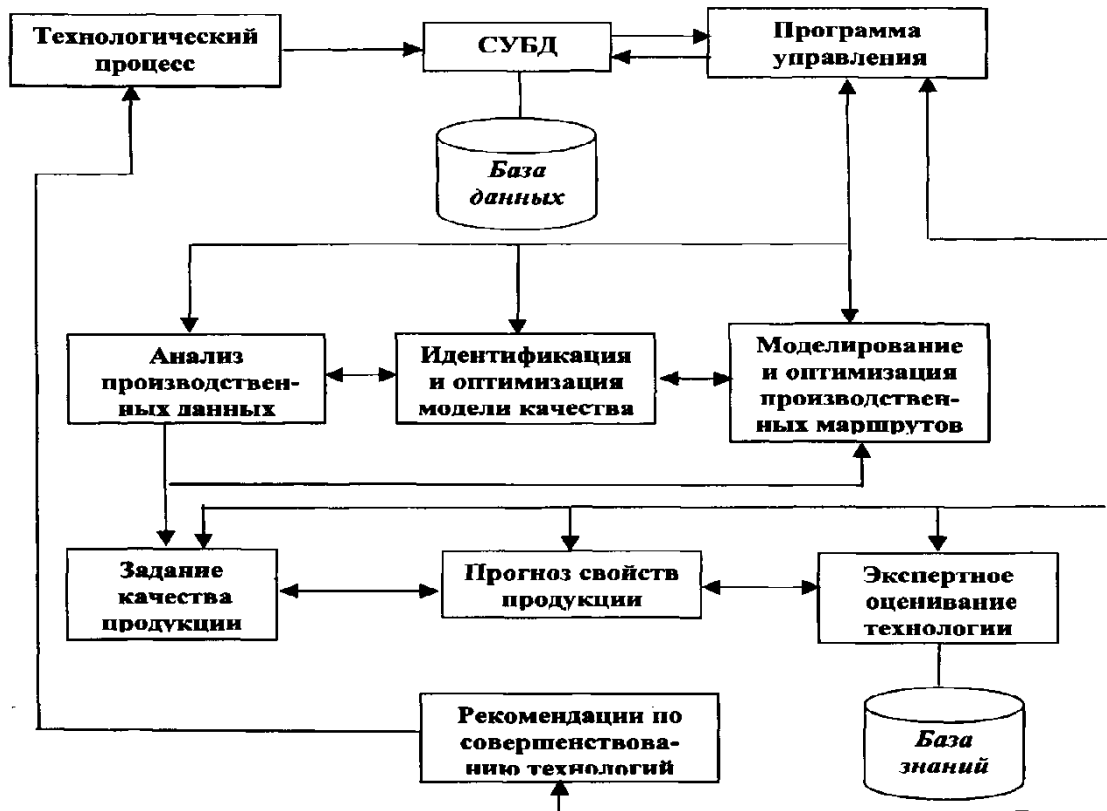


Рис. 7.7 Программная инфраструктура обеспечения ИАСКиУК кондитерской продукции

- Прогноз изменения качественных показателей кондитерской продукции при варьировании технологических условий обработки полуфабриката.
- Возможность четкого экспертного оценивания технологических и режимных параметров линии производства каждой кондитерской продукции на основе предварительной обработки знаний экспертов и получение результатов прогноза качества исследуемых готовых кондитерских изделий.

Анализ полученных данных позволяет получить от ИАСКиУК экспертное заключение и прогноза качества выпускаемых конфет, а также получить рекомендации по совершенствованию кондитерского производства.

Структура программного обеспечения информационной поддержки интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кондитерской продукции представлена на рисунке 7. 8.

Основные функции данной структуры: прием данных от удаленных пользователей и передача им результатов обработки данных знаний.

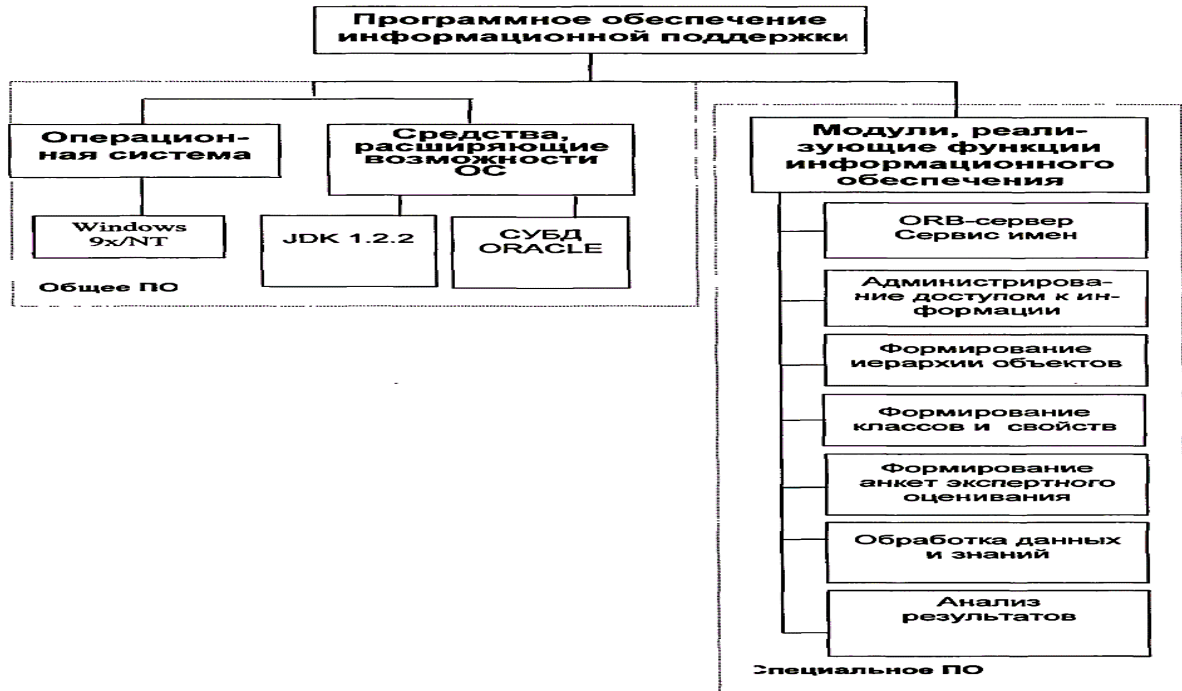


Рис. 7.8 Структура программного обеспечения информационной поддержки интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кондитерской продукции

Структура программной реализации математического обеспечения ИАСКиУК представлена на рисунке 7.9.

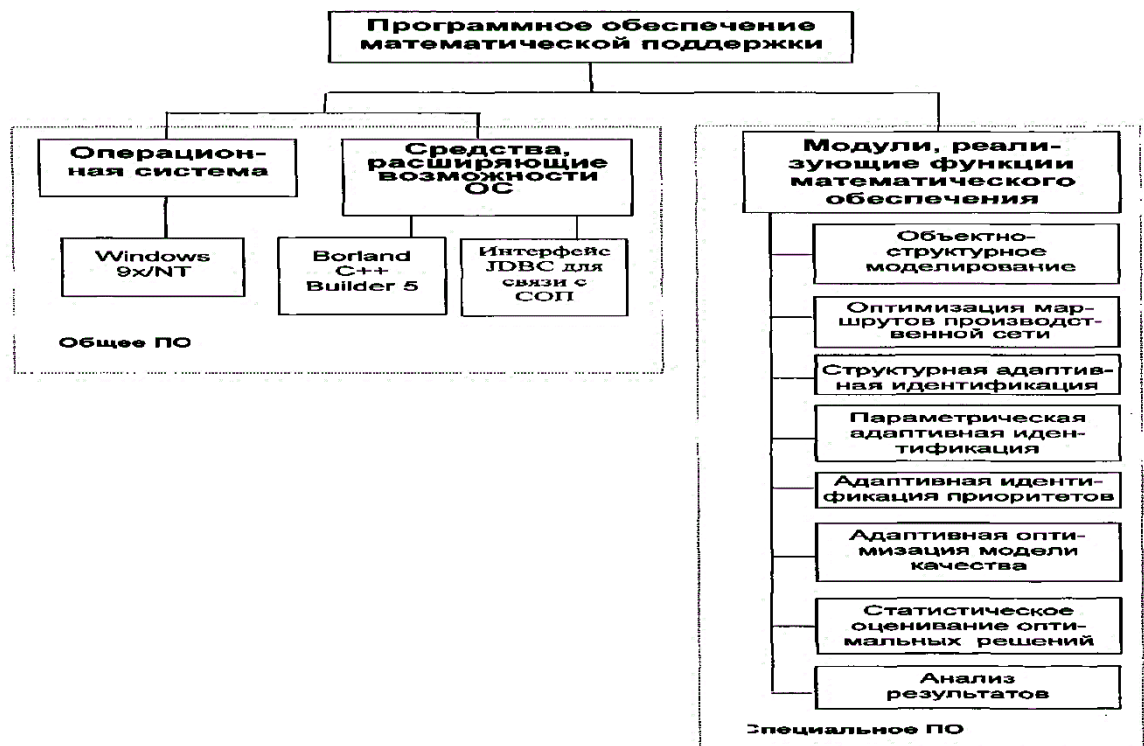


Рис. 7.9 Структура программной реализации математического обеспечения системы контроля и управления

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 идентификации всех процессов производства каждого вида кондитерской продукции и оптимизации моделей качества сырья, полуфабрикатов и готовых кондитерских изделий.

7.4. Программирование логического контроллера для создания ИАСУК кондитерской продукции (на примере подсолнечной халвы)

Было проведено программирование ПЛК с помощью высокоэффективного программного обеспечения CODESYS. На рисунке 7.10 представлен пример разработанной модели ТП производства подсолнечной халвы в программе CODESYS V2.3.

Программа реализована на графическом языке SFC и предусматривает непрерывный цикл производства халвы. На рисунке 7.11 представлен код программы на языке SFC.

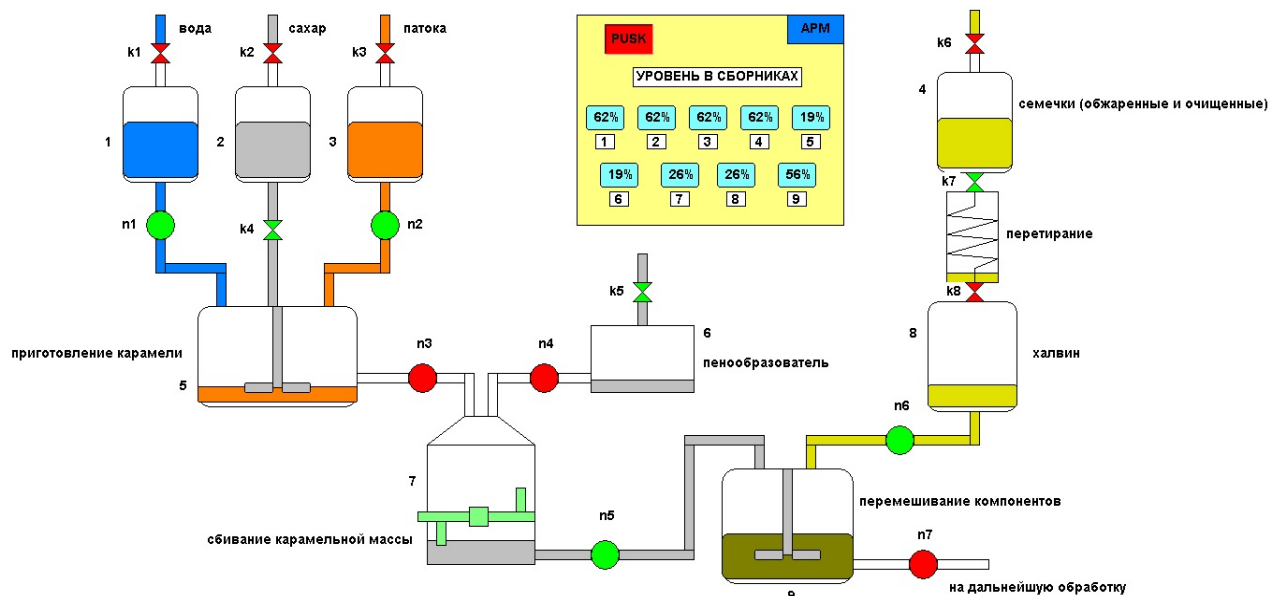


Рис. 7.10. Модель процесса производства халвы в программе CODESYS

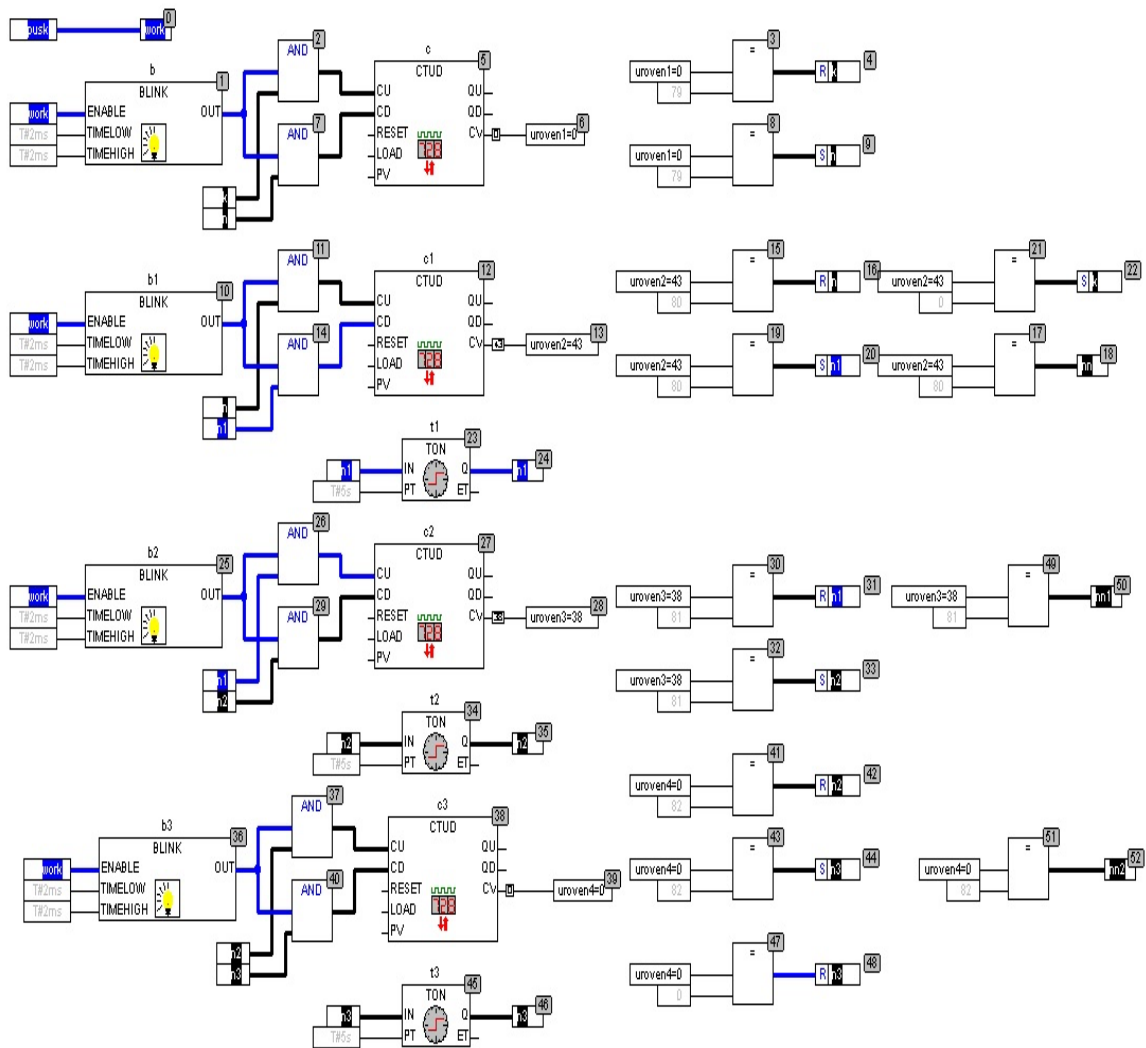


Рис. 7.11 Код программы на языке CFC

Подробное описание работы схемы приведено в наших статьях [82, 90]. 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 [25, 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:

1 этап. Постановка задачи.

На начальном этапе необходимо четко *сформулировать задачу и сформулировать требования* к разрабатываемой интеллектуальной автоматизированной системе контроля и управления качеством (ИАСКиУК) кондитерской продукции.

2 этап. Приобретение знаний.

Далее эти требования уточняются и конкретизируются на этапе приобретения знаний. На этом этапе определяется коллектив экспертов предметной области, их взаимодействие с инженером по 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 на качество готового продукта используется интеллектуальный анализ данных.

4 этап. Формализация ИАСКиУК кондитерской продукции.

Этап формализации ИАСКиУК кондитерской продукции происходит на основе результатов анализа и 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 KAON2 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 модуль-

ный 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 нарушения 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 исполнительные механизмы технологической линии производства определенного вида кондитерских изделий, являются модули вывода программируемых логических контроллеров. Информационный сигнал, поступающий от интеллектуального модуля автоматического контроля органолептических показателей (АКОП), обрабатывается программой нейроконтроллера, вследствие чего выдается управляющее воздействие на конкретный исполнительный механизм и тем самым происходит корректировка технологического процесса в соответствии с рассчитанными данными.

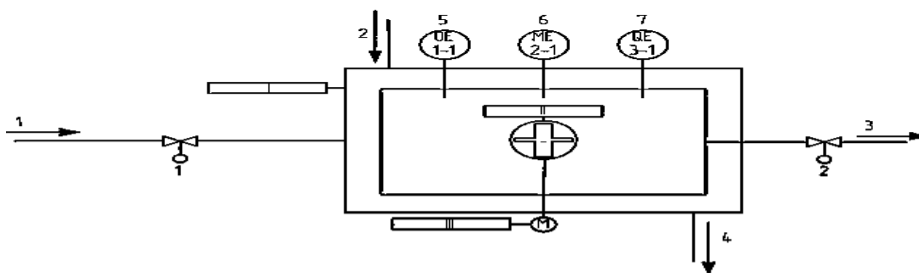
Универсальность разработанной структуры и подобранные под нее технические средства автоматизации позволяют использовать разработанную ИАСКиУК для автоматического контроля и управления качеством различных кондитерских изделий.

7.7. Исследование и модернизация ФСА поточных линий производства кондитерской продукции

Исходя из полученных в данной работе результатов, все важнейшие параметры, характеризующие ТП производства кондитерской продукции, были заложены в разработанные функциональные схемы автоматизации ТП производства разнообразной кондитерской продукции.

7.7.1. ФСА основных ТП производства помадных глазированных конфет

Интеллектуальные датчики вкуса и цвета помадных масс были заложены в разработанную ФСА процесса сбивания (рисунок 7.12). Для получения заданного качества помадной массы системой цифровых видеокамер (ЦВК) контролируется цвет получаемой массы (1-1) и с использованием ИНС в потоке определяется величина кристаллов сахара в помадной массе. Влажность фиксируется датчиком (2-1), концентрация сухих веществ $\leq 1\%$ регистрируется датчиком (3-1). После достижения нужных показателей качества помадная масса выходит самотеком при открытии клапана (2).



Приборы по месту				1	5	6	2	7
Приборы на щите					DRK 1-2	MIRK 2-3		MIK 3-2
ПК	УО	Вход	АС					
		Выход	ДС					
	Контроллер	АС						
		ДС						
		ПЛУ						
ПК	R							
	Защита							

№	Наименование
I	Помадосбивальная машина
II	Сбивальные лопасти
III	Движок
1	Сироп
2	Вход холодной воды
3	Выход готового продукта
4	Выход отработанной воды

Рис. 7.12 ФСА процесса сбивания помадной масс

Все выявленные важнейшие параметры, характеризующие процесс приготовления конфетных масс, в том числе датчики контроля качества, характеризующие величину кристаллов сахара в конфетных массах и цвет этих масс были заложены в разработанную ФСА процесса приготовления помадных конфетных масс, представленную на рисунке 7.13.

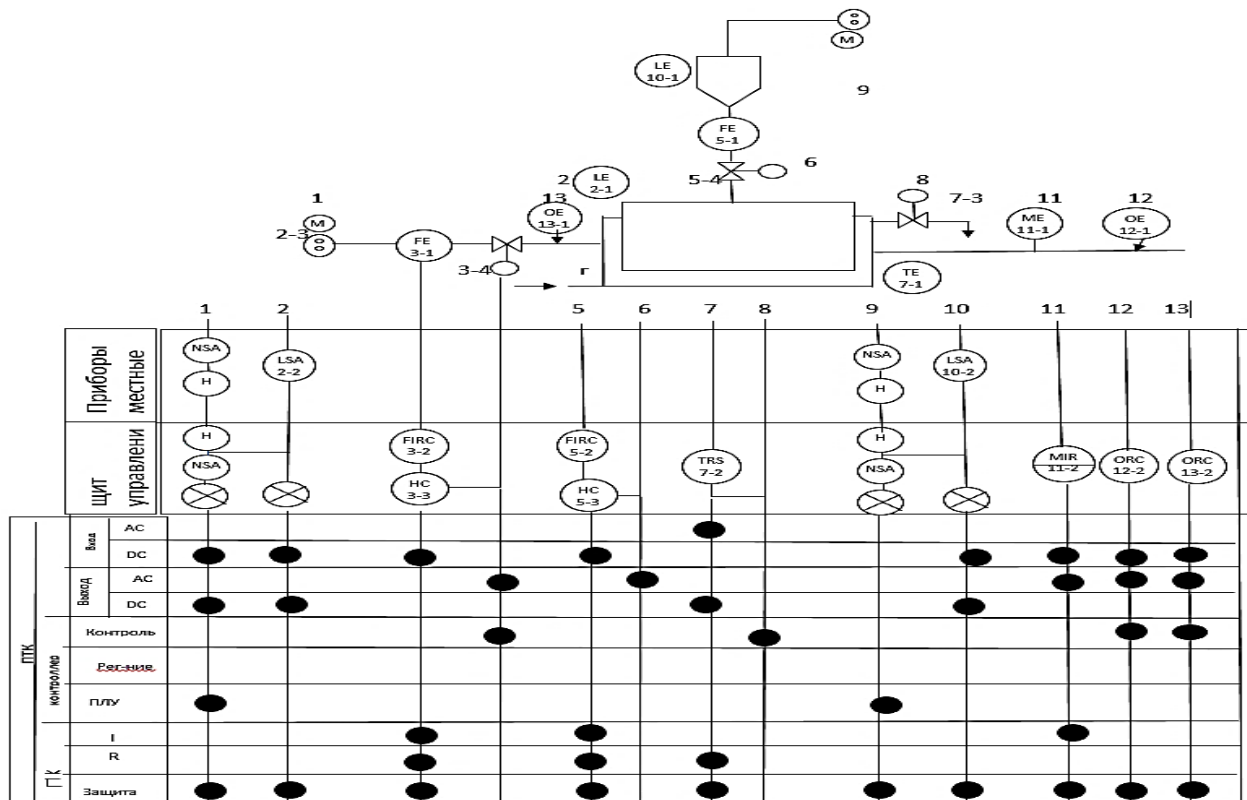


Рис. 7.13. ФСА ТП приготовления конфетной массы.

ЦВК 12-1 установлена для наблюдения за цветом готового продукта и передает результаты на регистрирующее устройство 12-2. Величина кристаллов сахара 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 формования корпусов конфет, представленную на рисунке 7.14.

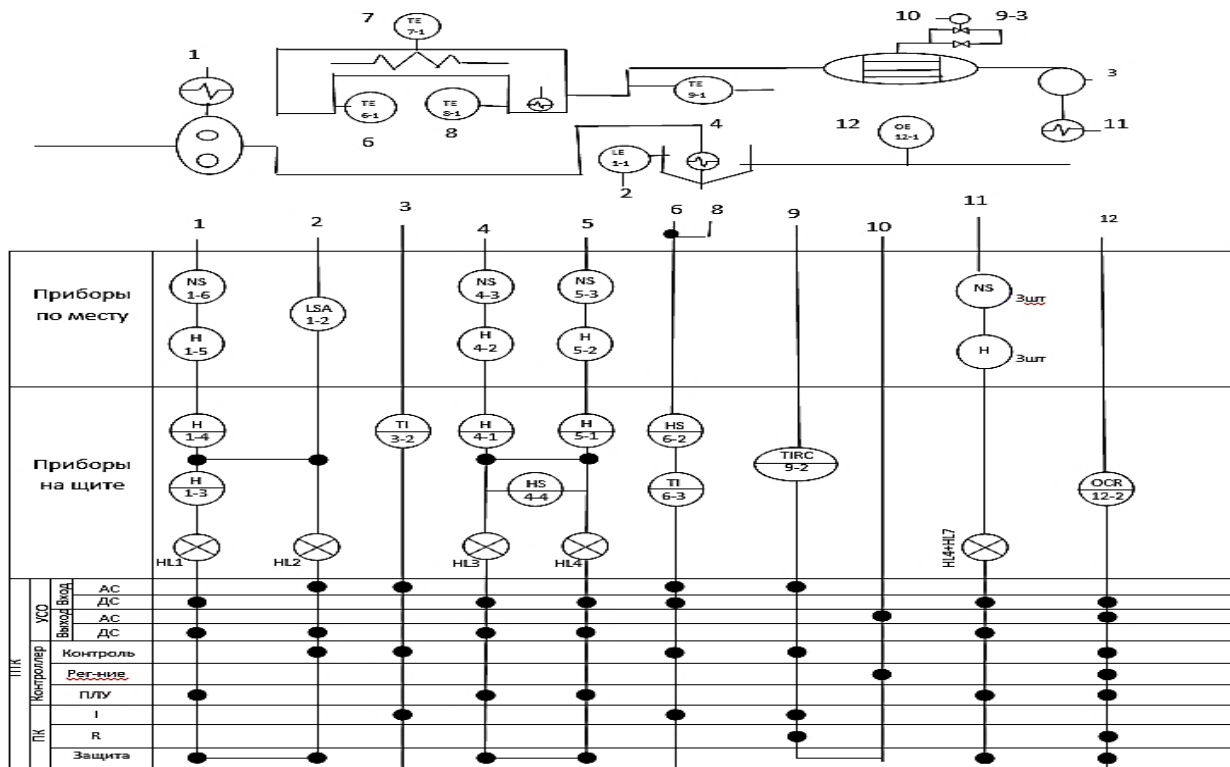
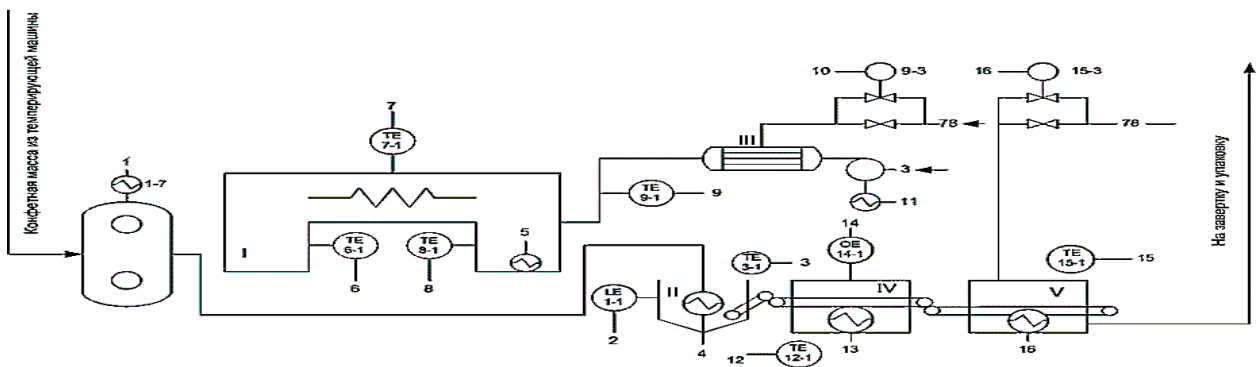


Рис. 7.14. ФСА ТП получения корпусов конфет

С помощью цифровой видеокамеры 12-1 определяется цвет корпусов конфет. Данные с камеры передаются на регистрирующее устройство 12-2.

Все выявленные важнейшие параметры, характеризующие данный процесс, в том числе датчики контроля качества глазированных конфет были заложены в разработанную ФСА процесса глазирования корпусов конфет, представленную на рисунке 7.15.



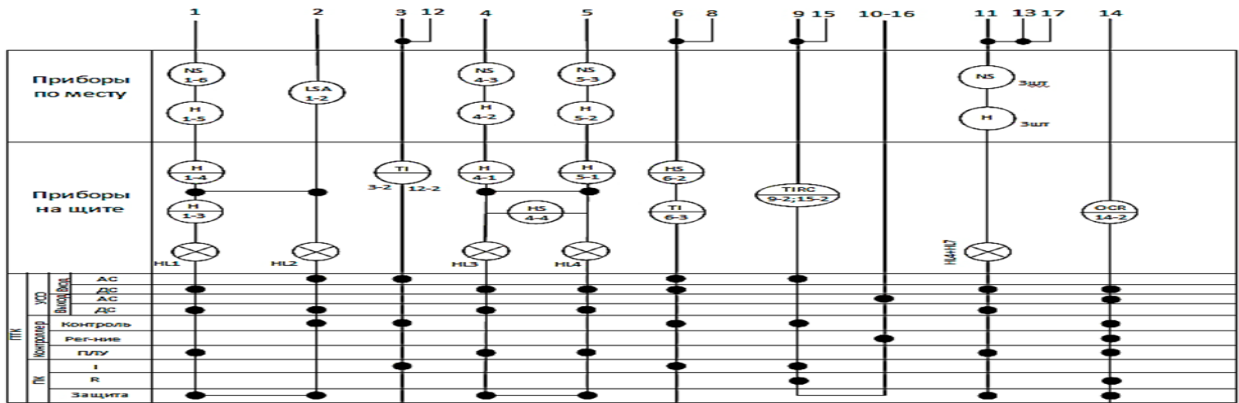


Рис. 7.15 ФСА ТП глазирования конфет

ФСА процесса заворачки и упаковки ПГК показана на рисунке 7.16.

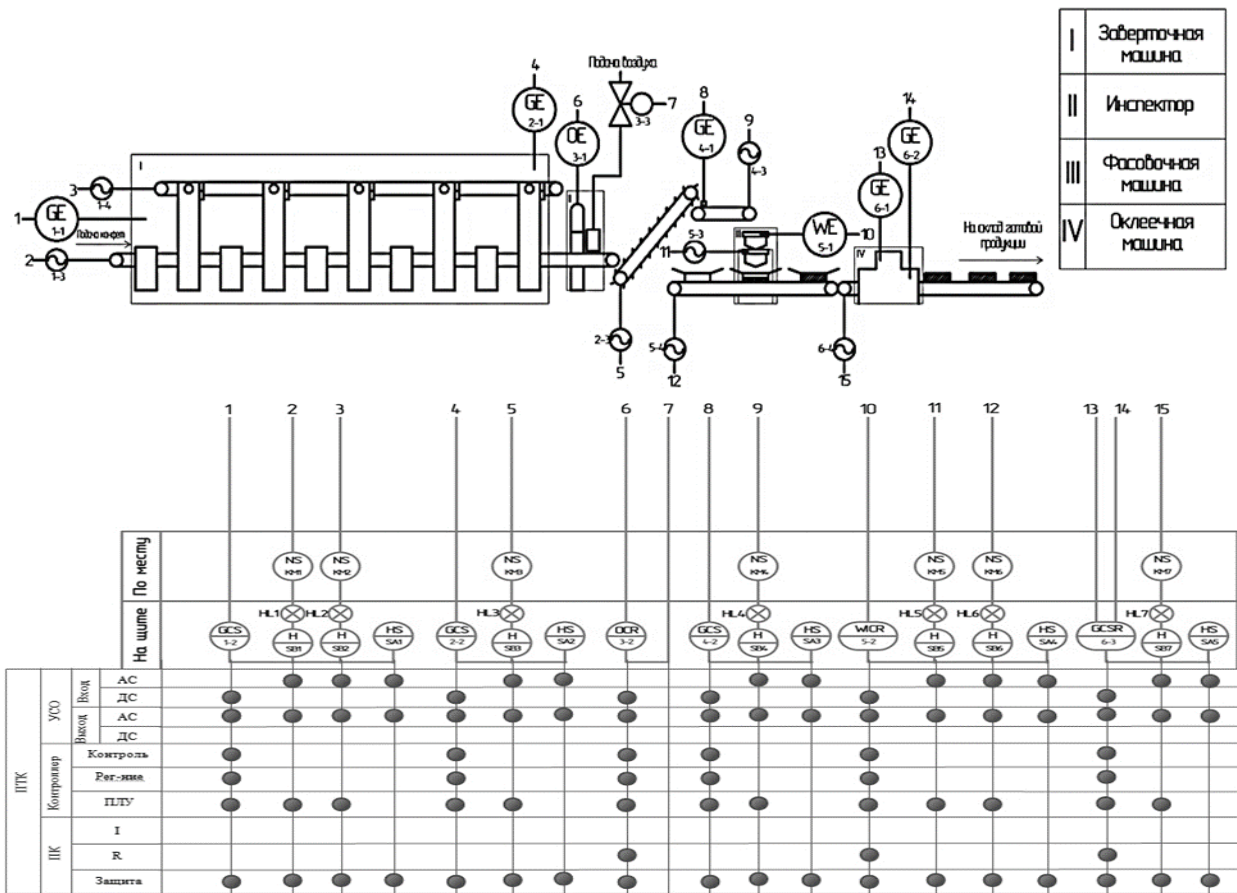


Рис. 7.16. ФСА процесса заворачки и упаковки ПГК

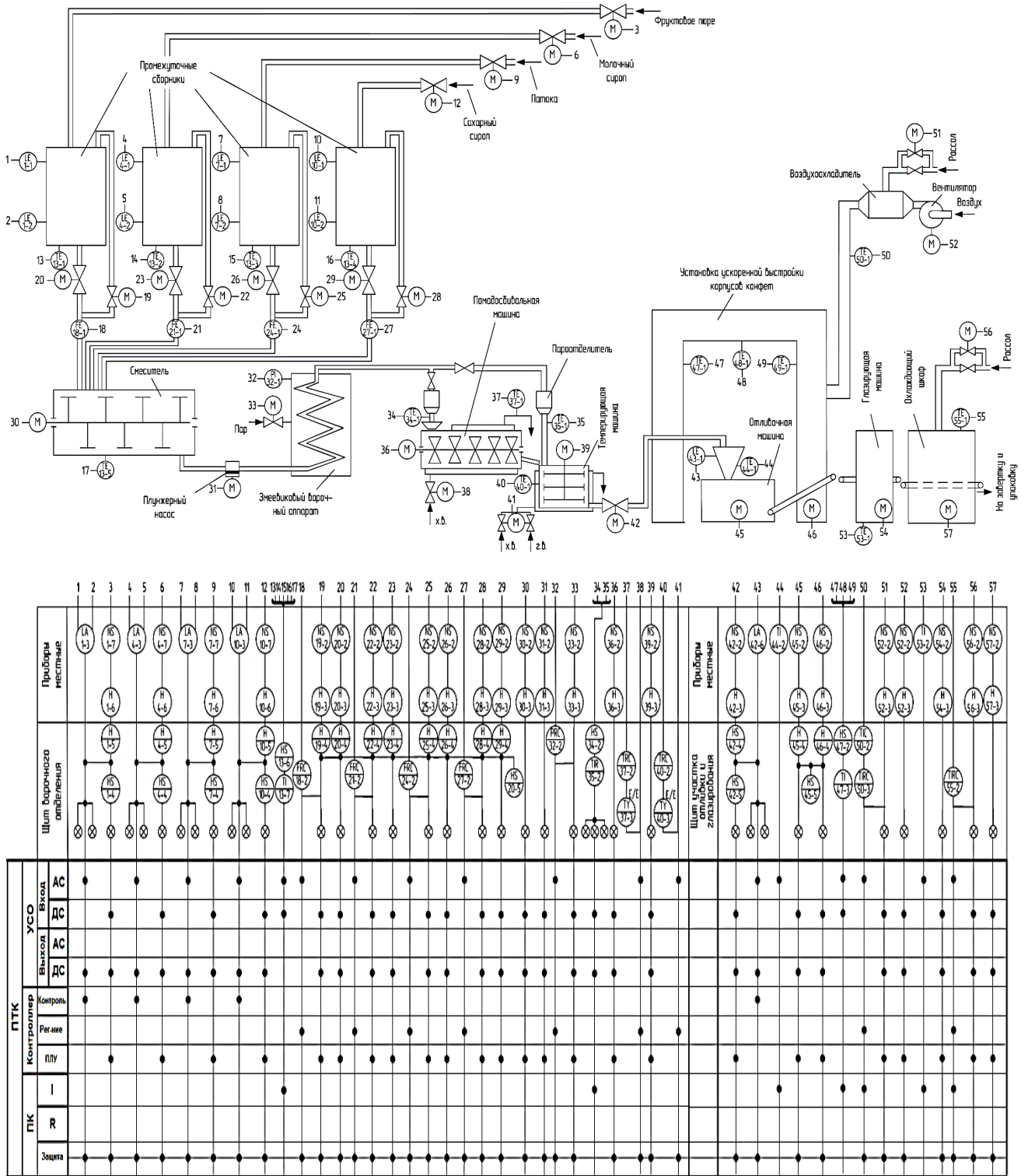


Рис. 7.17. ФСА линии производства ПГК.

В схеме, представленной на рисунке 7.17, показаны новые решения по автоматизации контроля органолептических показателей сырья, полуфабрикатов и готовых изделий с использованием интеллектуальных технологий, что повлечёт

за собой исключение возможных ошибок, минимизацию брака, расходов и трудозатрат, а также повышение качества производимой продукции.

7.7.2. ФСА основных ТП производства подсолнечной халвы

ФСА процесса сепарирования семян подсолнечника

ФСА процесса сепарирования семян подсолнечника, являющегося основным сырьем производства подсолнечной халвы, представлена на рисунке 7.39.

На основании полученных данных, все важнейшие параметры, характеризующие процесс подготовки полученного после сепарирования сырья к хранению или дальнейшему производству подсолнечной халвы, были заложены в разработанную ФСА этого процесса (рисунок 7.18).

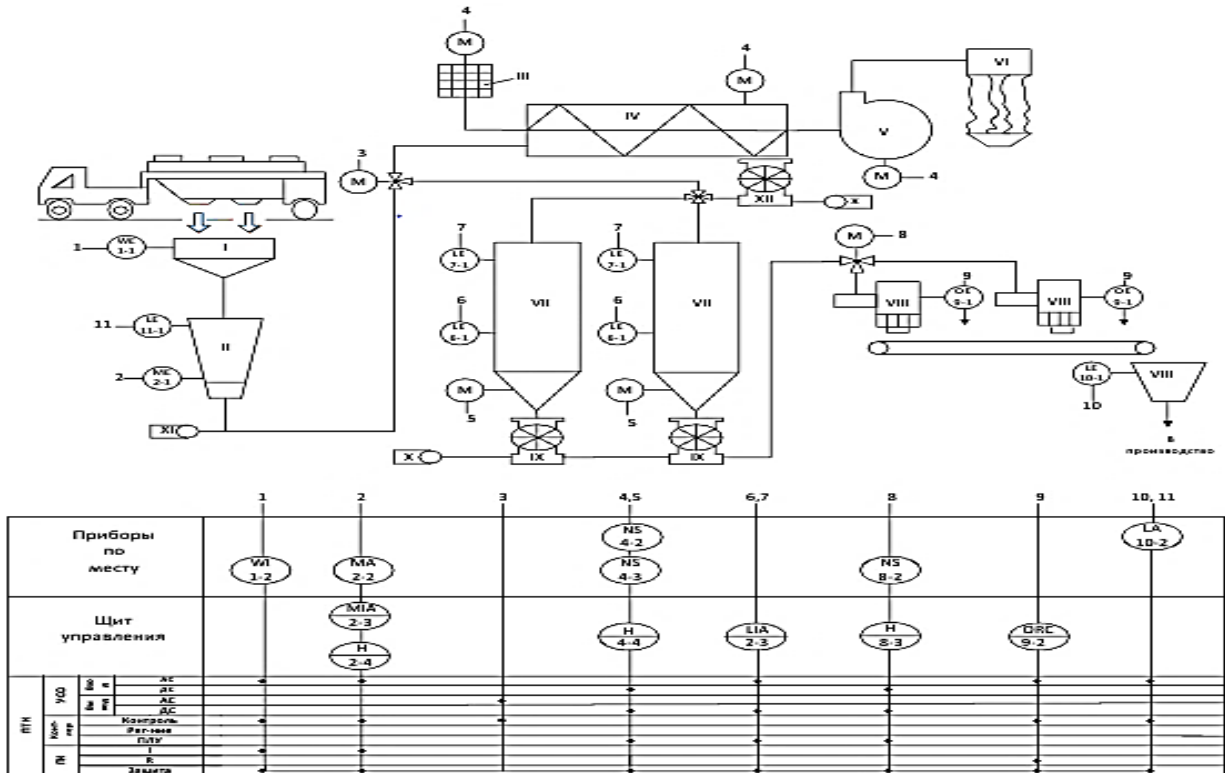


Рис. 7.18. ФСА процесса сепарирования семян подсолнечника

В представленной на рисунке 7.18 схеме на основании полученных в данной работе данных, все важнейшие параметры, характеризующие процесс подготовки полученного после сепарирования сырья семян подсолнечника к хранению или дальнейшему производству подсолнечной халвы, были заложены в разработанную ФСА этого процесса.

Разработанная ФСА хранения и подготовки семян подсолнечника к производству халвы 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 технических средств (ТС) и самодиагностику контроллера до уровня модуля с выдачей сигнализации об отказе без останова линии производства халвы;
- связь с вышестоящими системами.

В представленную схему автоматизации были включены интеллектуальные датчики автоматического контроля 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 [19, 82].

ФСА процесса приготовления сахарного сиропа для производства халвы

На рисунке 7.19. представлена ФСА процесса приготовления сахарного сиропа для производства халвы.

Подробное описание работы функциональной схемы автоматизации данного этапа производства халвы приведено в наших работах [22, 82]. В схему автоматизации были заложены интеллектуальные датчики контроля вкуса (размер кристаллов) сахарного сиропа и его цвета.

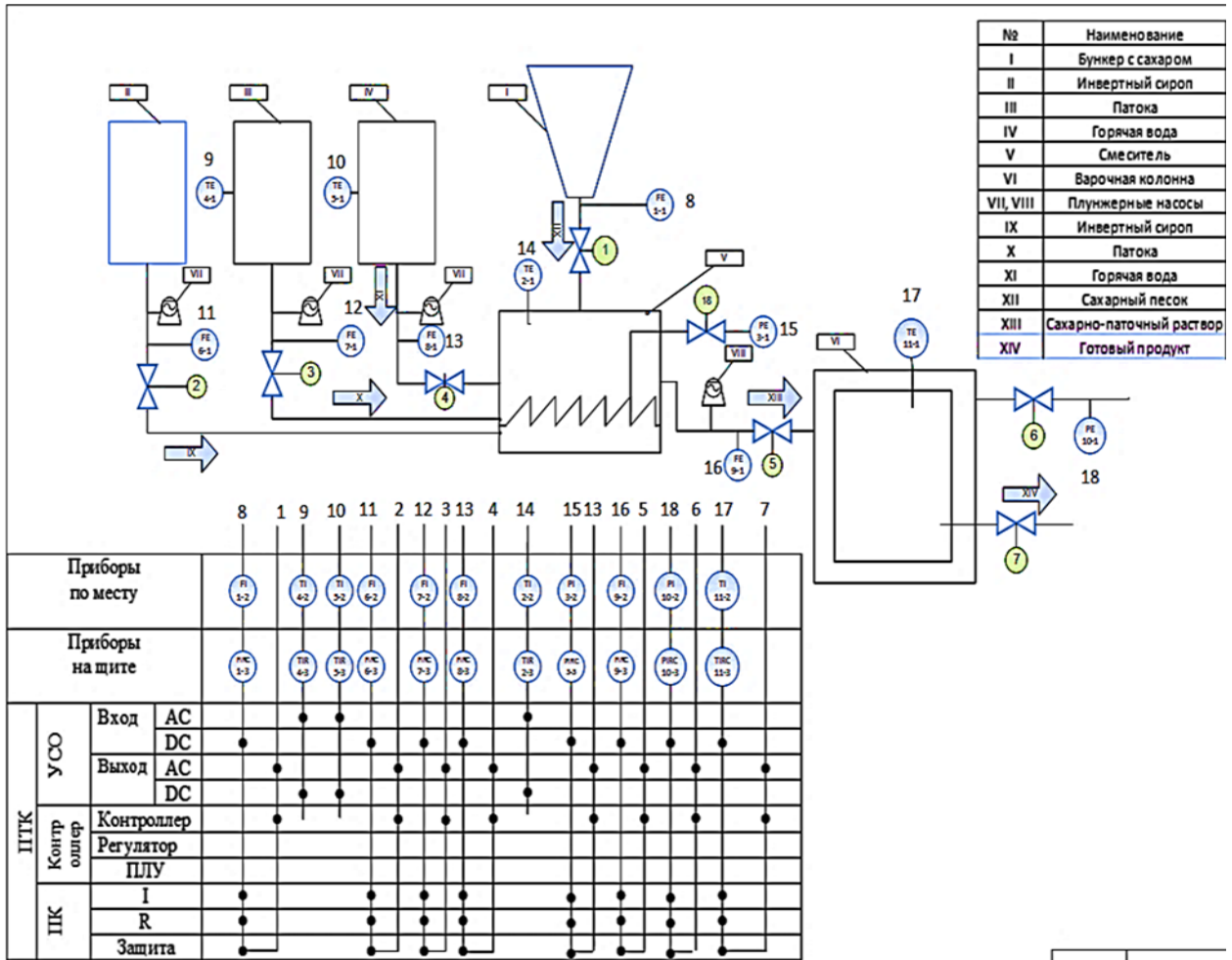
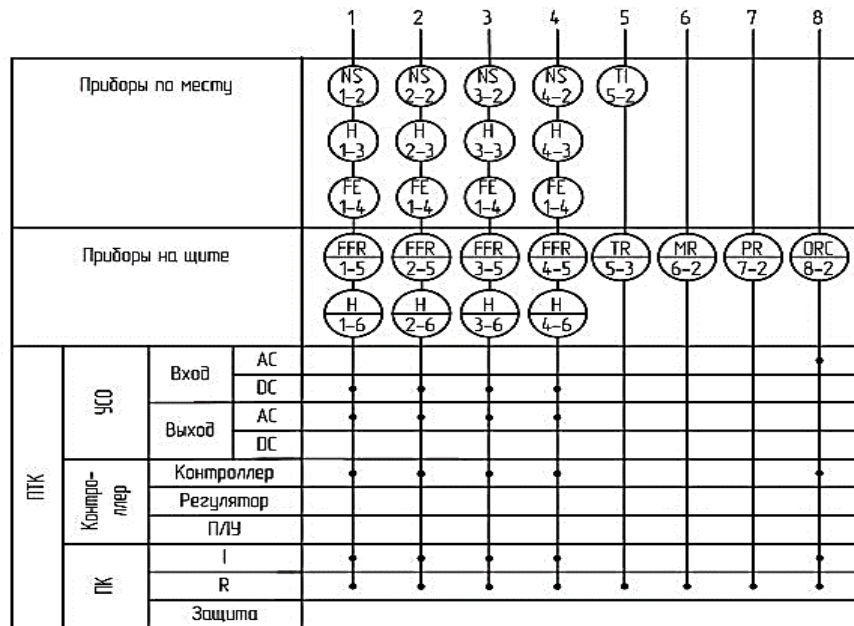
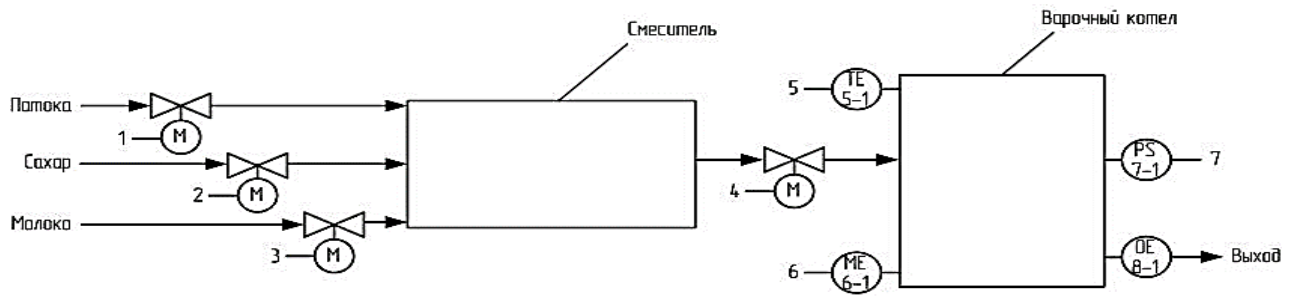


Рис. 7.19 ФСА процесса приготовления сахарного сиропа

ФСА процесса приготовления карамельного сиропа для производства халвы

На рисунке 7.20. представлена ФСА процесса приготовления карамельного сиропа для производства халвы. Подробное описание работы функциональной схемы автоматизации данного этапа производства халвы приведено в наших работах [20, 21, 82]. В данной схеме представлены интеллектуальные датчики контроля качества карамельного сиропа.



Рисунка 7.20. ФСА процесса приготовления карамельного сиропа для производства халвы

ФСА процесса взбивания карамельных масс для производства халвы

На рисунке 7.21. представлена ФСА процесса взбивания карамельных масс для производства халвы. Подробное описание данного этапа производства халвы приведено в наших работах [19 -26, 82]. В разработанной схеме представлены интеллектуальные датчики контроля качества карамельных масс после взбивания (вкус и цвет этих масс). Для получения заданного качества карамельных масс системой цифровых видеокамер (ЦВК) контролируется цвет получаемой массы (5) и с использованием ИНС в потоке определяется величина кристаллов сахара в карамельной массе. Влажность фиксируется датчиком (6), концентрация сухих веществ $\leq 1\%$ 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.

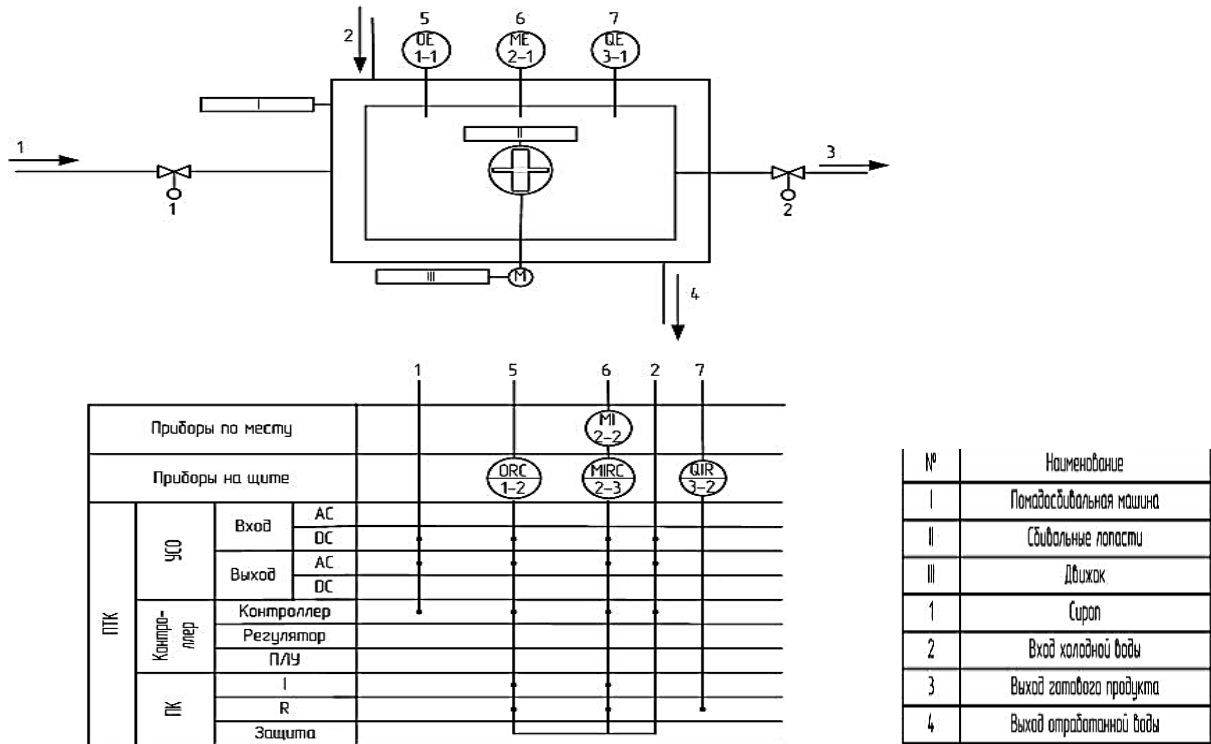


Рис. 7.21. ФСА процесса взбивания карамельных масс

ФСА процесса вымешивания массы халвы

На рисунке 7.22 представлена ФСА процесса вымешивания массы халвы.

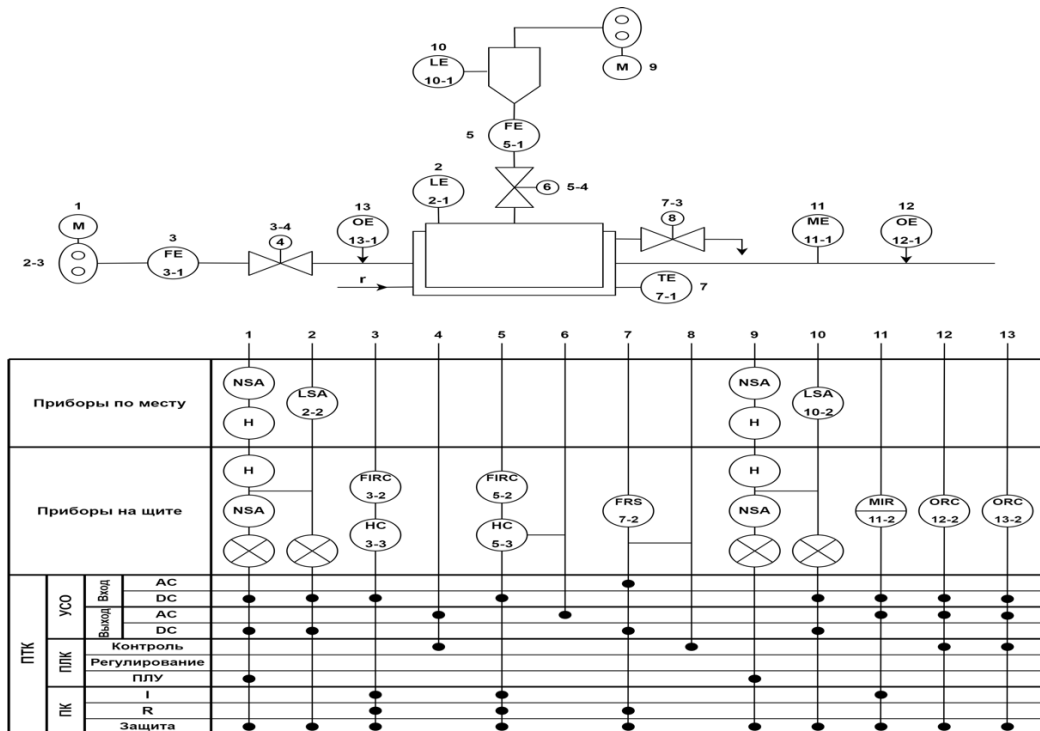


Рис. 7.22. ФСА процесса вымешивания массы халвы

Представленная на рисунке 7.22 разработанная ФСА включает все выявленные в данной работе важнейшие параметры, характеризующие процесс вымешивания массы халвы. В схеме представлены датчики контроля качества, характеризующие величину кристаллов сахара в массе халвы, а также цвет этих масс.

ЦВК 12-1 установлена для наблюдения за цветом массы халвы после вымешивания и передаёт результаты на регистрирующее устройство 12-2. Величина цвета и консистенции массы халвы после вымешивания регистрируется устройством 13-2.

ФСА процесса формирования корпусов конфет халвы

Все выявленные важнейшие параметры, характеризующие процесс формирования халвы, в том числе датчики контроля качества корпусов конфет после формирования были заложены в разработанную схему автоматизации формирования корпусов конфет халвы, представленную на рисунке 7.23.

С помощью цифровой видеокамеры 12-1 определяется цвет корпусов конфет. Данные с камеры передаются на регистрирующее устройство 12-2.

Подробное описание данного этапа производства халвы приведено в нашей работе [22].

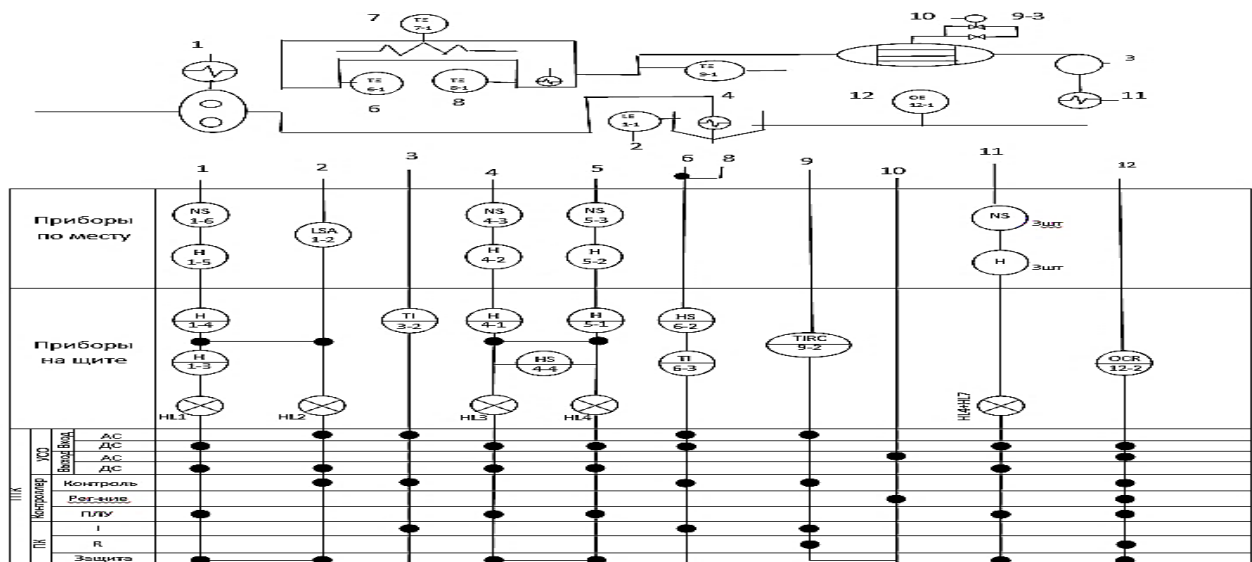


Рис. 7.23. ФСА процесса формирования корпусов конфет халвы

7.7.3. ФСА производства мармелада

Была разработана ФСА производства мармелада, представленная на рисунке 7.24.

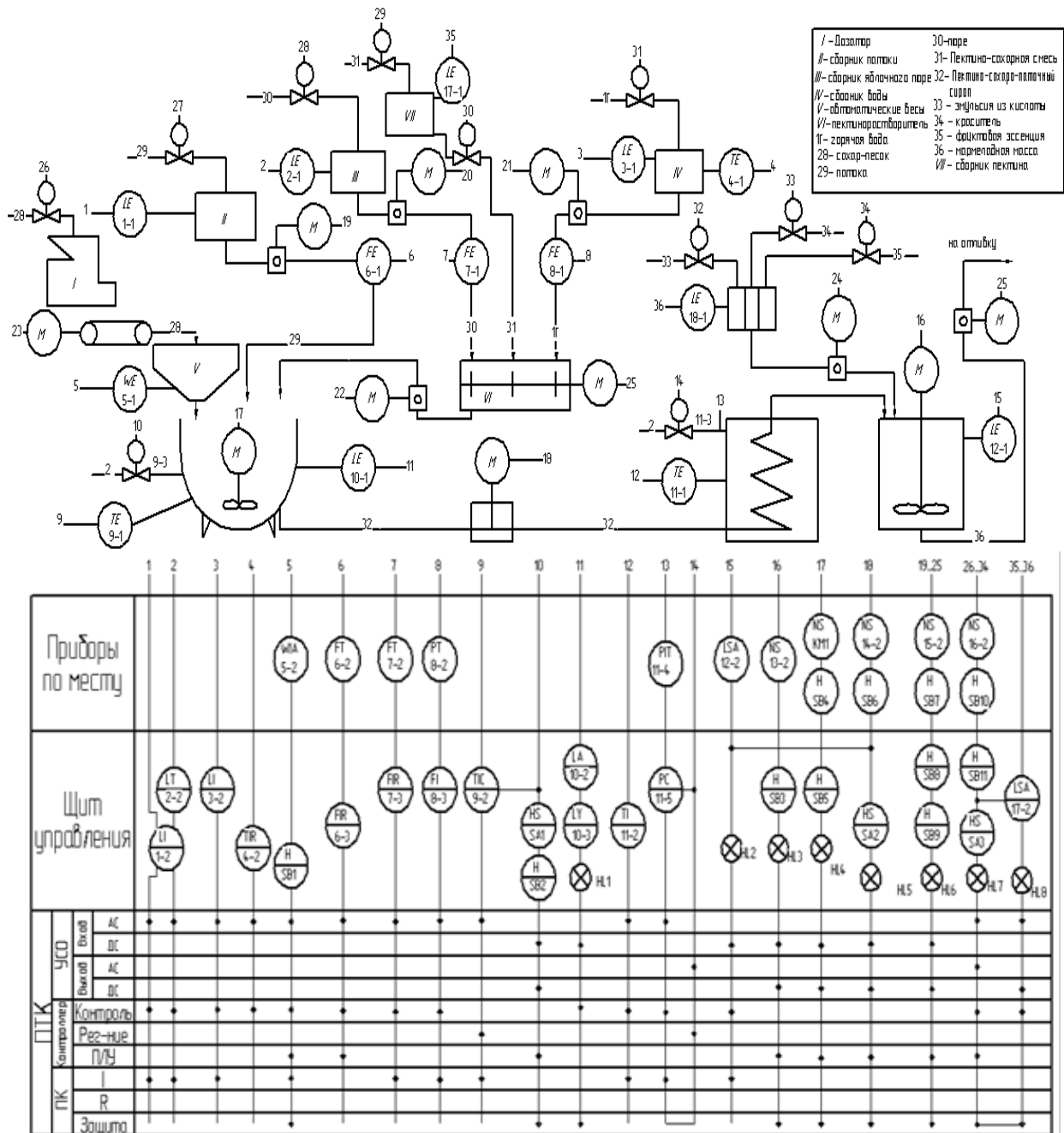


Рис. 7.24. ФСА производства мармелада

Для автоматизации линии приготовления мармелада предусмотрен программно-технический комплекс (ПТК).

7.7.4. ФСА ТП производства глазированного суфле

ФСА ТП производства глазированного суфле показана на рисунке 7.25.

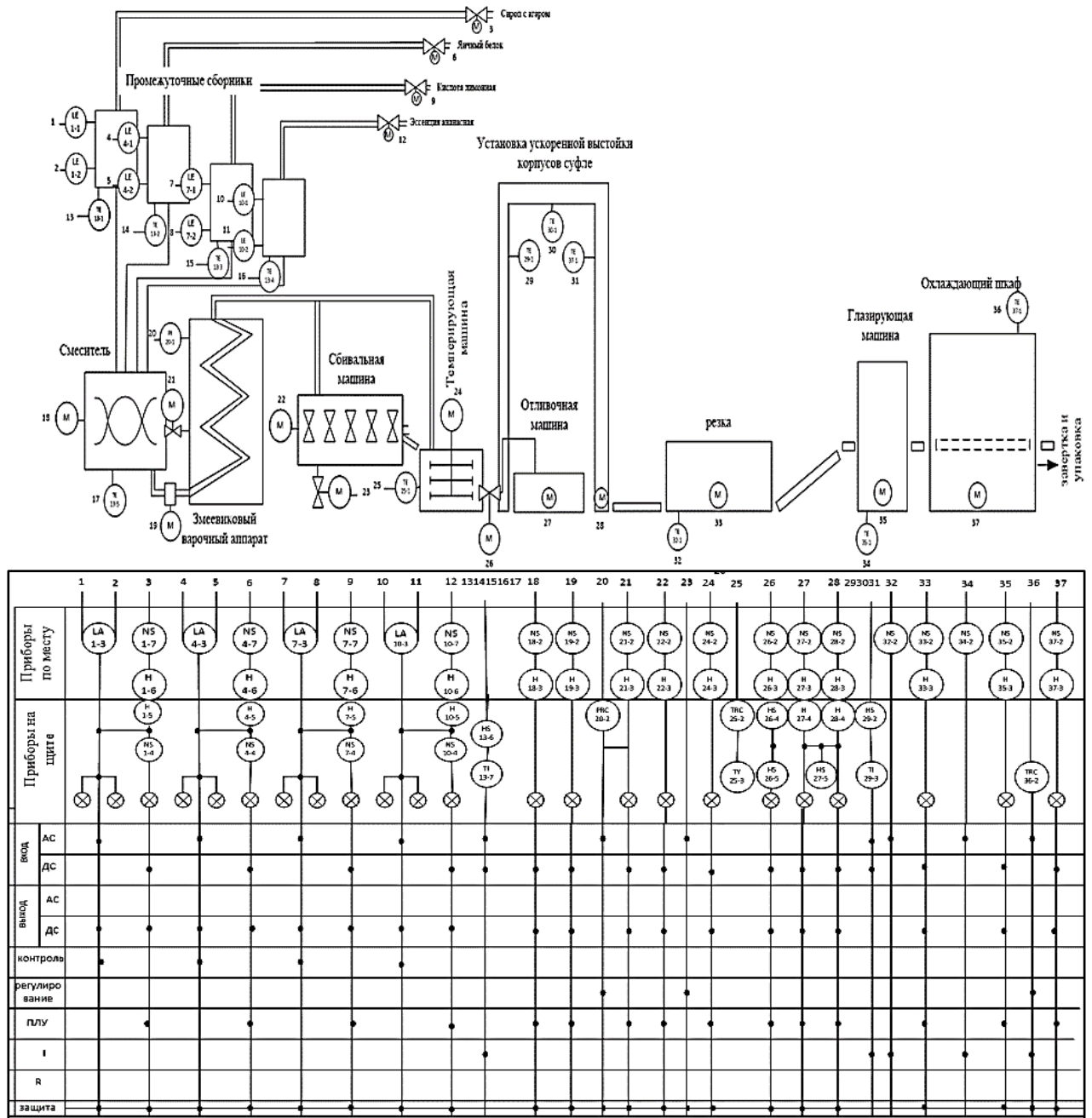


Рис. 7.25. ФСА ТП производства глазированной суфле.

Температура исходной смеси в промежуточных емкостях контролируется с помощью датчика температуры ДТ-303-РТ, сигнал с которого поступает на двухканальный измеритель температуры 2ТМО.

Автоматическое дозирование компонентов смеси обеспечивается путем стабилизации расходов компонентов из промежуточных емкостей в смеситель. Продукты из емкостей через трубопроводы, в которых установлены электромаг-

нитные 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.

7.7.5. ФСА основных ТП производства шоколада

Разработанная функциональная схема автоматизации процессов производства шоколада с внесением новым решений по автоматизации контроля органолептических показателей сырья, полуфабрикатов и готовых изделий с использованием интеллектуальных технологий представлена на рисунке 7.26. Внедрение представленных в данном исследовании разработок повлечёт за собой исключение возможных ошибок, минимизацию брака, расходов и трудозатрат, а также повышение качества производимой продукции.

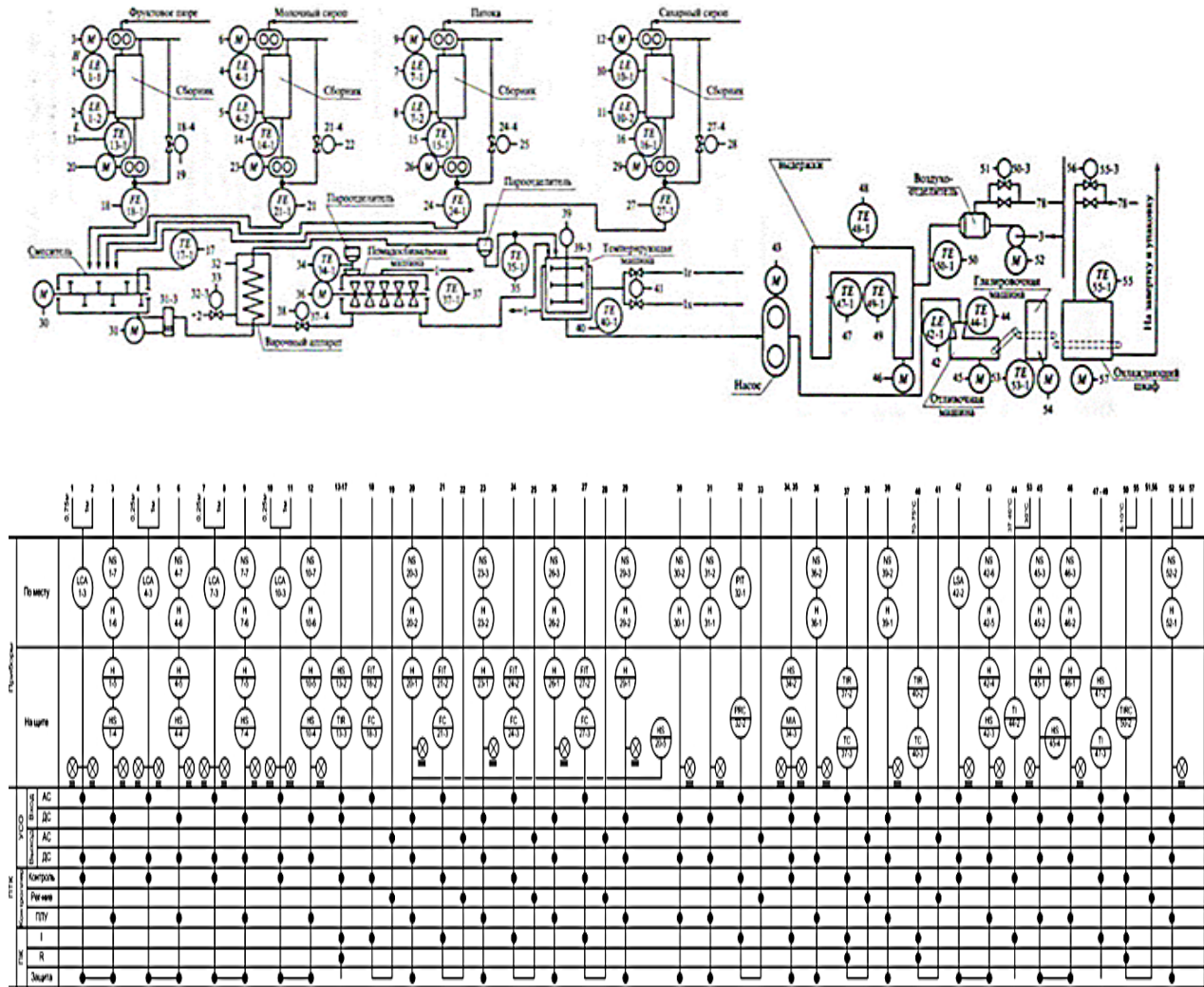


Рис. 7.26. ФСА производства шоколада

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.

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 модернизированы ФСА поточных линий производства кондитерской продукции помадных глазированных конфет, подсолнечной халвы, мармелада и других кондитерских изделий. 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

Основные выводы и результаты заключаются в следующем.

Основные выводы и результаты заключаются в следующем.

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

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

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

4. Проведены экспериментальные исследования и построены органолептические профили исследуемой продукции.

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

6. Определена перспективность использования нейросетевых технологий, генетических алгоритмов, экспертных систем, систем компьютерного зрения, мультиагентных имитационных моделей и гибридных методов и технологий в решении задач создания интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством.

7. Разработаны структурно-параметрические, математические, ситуационные и имитационные модели основных этапов ТП производства кондитерской

продукции различной структурой, являющихся основой разработки ИАСКиУК, позволяющих прогнозировать ход этих процессов и определять необходимые при этом режимы работы используемого оборудования.

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

9. Созданы методы, способы, алгоритмы, математическое и программное обеспечение средств автоматического контроля в потоке органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых кондитерских изделий на базе гибридных методов и технологий. На этой базе разработано новое поколение интеллектуальных средств автоматизации контроля важнейших органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции в режиме реального времени.

10. Представлены методологические основы создания цифровых моделей двойников производства кондитерских изделий.

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

12. Разработаны научно-обоснованные подходы к созданию комплекса методов, алгоритмов, моделей и программ, обеспечивающих работу созданной нейросетевой интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кондитерской продукции с интеллектуальными функциями прогнозирования, поддержки и принятия решений.

13. Представлены модифицированные функциональные схемы автоматизации основных этапов процессов производства кондитерской продукции разной структуры с включением в эти схемы разработанных интеллектуальных

средств автоматического контроля органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий, что позволит повысить эффективность различных отраслей кондитерского производства.

14. Разработана концепция создания ИАСКиУК кондитерской продукции.

Разработаны основные виды обеспечения ИАСКиУК: информационное, математическое и программное. Представлены обобщенная функциональная структура, архитектура и основные этапы реализации ИАСКиУК.

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

16. Проведена производственная проверка результатов исследования на промышленном оборудовании линий по производству кондитерской продукции Холдинга «Объединенные кондитеры». Разработанные методы, способы, алгоритмы и программы прошли апробацию и внедрены в учебных процессах кафедры «Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами» РОСБИОТЕХ и кафедры «Промышленная информатика» Института искусственного интеллекта ФГБОУ ВО "МИРЭА - Российский технологический университет", а также на ряде НИИ и профильных фирм.

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
 ЧЭ – чувствительный элемент

СПИСОК 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. SCADA-системы: взгляд изнутри – М.: Москва, 2004.
6. Апанасенко, С. И. Автоматизация контроля влажности кондитерских масс с применением интеллектуальных технологий: Автореф. дис.... канд. техн. наук : 05.13.06 . — М., 2010. — 131 с., 27 с.
7. Апанасенко, С. И. Автоматизация контроля влажности кондитерских масс с применением интеллектуальных технологий [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.06 / Апанасенко Сергей Игоревич. — 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 //Материалы первой международной НПК «Планирование и обеспечение подготовки и переподготовки кадров для отраслей пищевой промышленности и медицины». - М.: Изд. комплекс МГУПП, 2012. с. 212 – 214
9. Анисимов, Б.В. 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. 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: Моно-графия/ 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. 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. Интеллектуальная ГИС / А. Березко, А. Рыбкина, А. Соловь-ев, 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 цветowych характеристик хлебобулочных изделий //Межвузовский сборник научных трудов «Системы управления и информационные теех-нологии». №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. 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.
22. Благовещенская М.М., Давыдова Г.Р., Семина Н.А., Благовещенский И.Г. Использование интеллектуальных технологий для контроля качества творога. // «Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий», №2, 2014. – с. 83 - 90.
23. 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 (общ. объем 0,3 п.л.).
24. 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.
25. Благовещенский В. Г. Интеллектуальная автоматизированная система управления качеством халвы с использованием гибридных методов и технологий: Авто-реф. дис.... канд. техн. наук : 05.13.06 - Москва, 2021. – 30 с.
26. Благовещенский В. Г. Интеллектуальный анализ данных для систем поддержки принятия решений диагностики процессов производства пищевой продукции // Цифровизация агропромышленного комплекса. Сборник научных статей. Тамбов. 21 – 23 октября 2020 Том I. 105-110 с.
27. Благовещенский В. Г. Использование методов визуальной корреляции для анализа данных от различных источников // Цифровизация агропромышленного комплекса. Сборник научных статей. Тамбов. 21 – 23 октября 2020 Том I. 87-92 с.
28. Благовещенский В.Г и др. Разработка структурно- параметрической модели процесса приготовления помадного сиропа при производстве халвы / Благовещенский В.Г., Благовещенский И.Г., Назойкин Е.А., Савельев В.О. // В сборнике научных докла-

дов II международной научно-практической конференции «Автоматизация и управление технологическими и бизнес-процессами в пищевой промышленности. М.: ИК МГУПП. 2016. С. 86 – 91.

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

30. Благовещенский В.Г и др. Обзор используемых на пищевых предприятиях в АСУТП рабочих станций, операторских пультов и перспективы их применения /Благовещенский И.Г., Карелина Е.Б., Петряков А.Н., Фо-мушкин В.И., Благовещенский В.Г.//В сборнике научных докладов II международной научно-практической конференции «Автоматизация и управление технологическими и бизнес-процессами в пищевой промышленности. М.: ИК МГУПП. 2016. С. 16 – 20.

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

32. Благовещенский В.Г. и др. Разработка интеллектуальных аппаратно-программных комплексов мониторинга процессов сепарирования дис-персных пищевых масс на основе интеллектуальных технологий/ Крылова Л.А., Благовещенский В.Г., Татаринцов А.В.//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/ Благовещенский И.Г., Назойкин Е.А., Савельев В.О., Благовещенский В.Г.// Сборник материалов научной общеуниверситетской студенческой конференции студентов и молодых ученых "День науки". М.: ИК МГУПП. 2017. С. 258-263.

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

35. Благовещенский В.Г. и др. Задача оценки степени готовности шоколадных масс к формованию/ Благовещенский В.Г., Благовещенская М.М., Крылова Л.А., Ионов А.В.// Сборник материалов XV международной научной конференции студентов и молодых ученых «Живые системы и биологическая безопасность населения». М.: ИК МГУПП. 2017. С. 108-112.

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

37. Благовещенский В.Г. и др. Разработка экспертной системы контроля качества в процессе приготовления халвы/ Благовещенский В.Г., Благовещенская М.М. // Сбор-

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

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

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

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

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

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

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

44. Благовещенский В.Г. и др. Разработка нейросетевой модели для управления процессом дозирования сыпучих масс / Балыхин М.Г., Благовещенский И.Г., Благовещенский В.Г., Крылова Л.А.// Сборник материалов конференции «Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности». М.: ИК МГУПП. 2019. С. 6-20
Благовещенский В.Г. Постановка задачи создания интеллектуальной автоматизированной системы управления процессом производства халвы/ Благовещенский В.Г.// Сборник материалов конференции «Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности». М.: ИК МГУПП. 2019. С. 21-31.

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

46. Благовещенский В.Г. и др. Использование технического зрения в качестве инновационного решения в системах "умного дома"/ Гарев К.В., Благовещенский И.Г.,

Назойкин Е.А., Благовещенский В.Г., Макаровская З.В. // Сборник материалов конференции «Интеллектуальные системы и тех-нологии в отраслях пищевой промышленности». М.: ИК МГУПП. 2019. С. 47-52.

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

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

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

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

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

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

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

54. Благовещенский В. Г. Интеллектуальный анализ данных для систем поддержки принятия решений диагностики процессов производства пищевой продукции/ Благовещенский В. Г.// Сборник научных статей II междуна-родной научно- практической конференции «Цифровизация агропро-мышленного 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., // Сборник научных ста-

тей II международной научно- практической 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/ Печерский Д. К., Назойкин Е. А., Благовещенский И. Г., Благовещенский В. Г // Сборник научных статей II международной научно- практической конференции «Цифровизация агропромышленного комплекса». Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ». 2020. Том I. С.174-179.

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

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

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: Автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.13.06. - М., 2015, - 26 с.

61. Благовещенский И.Г. Методологические основы создания экспертных систем контроля и прогнозирования качества пищевой продукции с использованием интеллектуальных технологий: Автореф. дис.... докт. техн. наук: 05.13.06. - М., 2018, - 46 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.№5.

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 // Автоматизация и управление технологическими и бизнес-процессами в пищевой промышленности. сборник научных докладов II международной научно-практической конференции. 2016. С. 16-20.

65. Благовещенский И.Г., Назойкин Е.А., Савельев В.О., Благовещенский В.Г. Параметрическая модель процесса приготовления карамельной массы под избыточным

давлением в змеевиково-варочной колонке // Обще-университетская студенческая конференция студентов и молодых ученых "День науки". Сборник материалов конференции: в 6 частях. 2017. С. 258-263.

66. Благовещенский И.Г., Носенко С.М. Экспертная интеллектуальная система мониторинга процесса формирования помадных конфет с использованием системы технического зрения // «Пищевая промышленность», №6, 2015. №6.

67. Благовещенский И.Г., Троицкий А.К. Использование метода Превитта при разработке алгоритмов обработки цифровых / И.Г. Благовещенский, А.К. Троицкий // Материалы первой международной НПК «Планирование и обеспечение подготовки и переподготовки кадров для отраслей пищевой промышленности и медицины». - М.: Изд. комплекс 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 первой международной научно-практической конференции – выставки «Планирование и обеспечение подготовки и переподготовки кадров для отраслей пищевой промышленности и медицины». - М.: Издательский комплекс МГУПП, 2012. С. 165 – 172.

69. Благовещенский И.Г., Троицкий А.К. Формализация исходных изображений с целью выделения информации для обработки цифровых видео-кадров с использованием различных методов // Материалы первой международной научно-практической конференции – выставки «Планирование и обеспечение подготовки и переподготовки кадров для отраслей пищевой промышленности и медицины». - М.: Издательский комплекс 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.: Энергоатомиздат, 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.

74. Бутковский А.Г. Методы управления в системах с распределенными параметрами. - М.: Наука, 1975.

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 Сладкопечев, С.С. Судакова. - М: Недра. - 1990. - 341 с.

78. Визильтер, Ю.В. 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. 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. Основы обучения искусственных нейронных сетей: учеб. пособие / В. И. Волчихин, А. И. Иванов. — Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2004. — 112с.
82. Вороновский Г.К. 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. Восьмиренко, 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 Московского государственного университета, 2001. – 104 с.
89. Гнеушев А. Н. Математическое моделирование выделения признаков видеозображения 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 видеозображения в реальном масштабе времени: Дис. ... канд. физ.-мат. наук : 05.13.18/ Прософт. – М., 2006.
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 // Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности. Сборник материалов конференции. 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.
103. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. – М.: Горячая линия-телеком, 2009.
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.
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. Вайштейн 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: Авто-реф. 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.

115. Еремин, Д. М. 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.
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. – 180с.
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 ... докт. 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 //Материалы первой междуна-родной 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 управления . 2004, №3.
127. Ивашкин Ю.А. Системный анализ и исследование операций в прикладной биотехнологии. Учебное пособие. М.: МГУПП, 2005. – 196.
128. Ивашкин Ю.А. «Агентные технологии и мультиагентное моделирование систем». Учебное пособие. М.: МФТИ, 2013. – 268.
129. Ивашкин Ю.А., Назойкин Е.В. Моделирование систем. Структурно-параметрические и агентно- ориентированные технологии. Лабораторный практикум. – М.: МГУПП, 2010. – 134.
130. Калацкая, Л. В. 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 техно-логические процессы пищевой отрасли // Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности. Сборник материалов конференции. 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. Погнот 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. 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. 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. Мяс-ная индустрия. 2014. № 10. С. 46-48.
147. Красуля О.Н., Николаева С.В., Токарев А.В., Краснов А.Е., Панин И.Г. Моделирование рецептур пищевых продуктов и технологий их производства: теория и практика. Санкт- Петербург, 2015.

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 / П. Г. Круг. — 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 поли-графии и издательского дела. – 2006. - №4. – С.117- 122.
153. Крылова Л.А., Благовещенский В.Г., Никитушкина М.Ю. Автоматизация сироповарочной станции непрерывного действия // Современное состояние и перспективы развития упаковки в пищевой промышленности. Материалы Конференции с международным участием. 2018. С. 141-144.
154. Крылова Л.А., Благовещенский В.Г., Никитушкина М.Ю. Исследования показателей качества помадного сиропа в процессе охлаждения // Современное состояние и перспективы развития упаковки в пищевой промышленности. Материалы Конференции с международным участием. 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. 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.
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 слаборазличимых 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. 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. 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. «Виль-ямс», 2003. – 268 с.
165. Макаренко А.А. Алгоритмы и программная система классификации по-лутоновых изображений на основе нейронных сетей: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.18.- М., 2007. – 22 с.
166. Манжула В.Г. 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. // Поли-графия . – 2006. - №5 .
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.
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.
172. Матвеев И.А. Поиск изображения по яркости предмета/ И.А Матвеев., А.Н. Трекин //Вестник ТГУ. Серия: Прикладная математика. 2012. №.5.
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 видеoinформации, 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. 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.
182. Нейросетевые системы управления / В.А. Терехов, Д.В. Ефимов, И.Ю. Тюкин. - М.: Высшая школа, 2002. – 184 с.

183. Нестеров А.Л. Проектирование АСУТП. Методическое пособие. Книга 1 – СПб.: Деан, 2006.
184. Никитушкина М.Ю., Крылова Л.А., Благовещенский В.Г. Разработка экспертной системы контроля качества в процессе приготовления халвы // Общеуниверситетская студенческая конференция студентов и молодых ученых "День науки". Сборник материалов конференции: в 6 частях. 2017. С. 294-301.
185. Николаев А.Б. Нейросетевые методы анализа и обработки данных: Учеб. пособие / А. Б. Николаев, И. Б. Фоминых. - М. : МАДИ (ГТУ), 2003. - 95 с.
186. Николайчук О.И. Современные средства автоматизации. – М.: Солон-пресс, 2006. – 162 с.
187. Новиков, А.Н. Разработка теоретических и методологических принципов создания систем компьютерного зрения для автоматизации контроля качества текстильных материалов: Автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.13.06. - М., 2014. – 36 с.
188. Новиков, Л.В. Основы вейвлет-анализа сигналов. Уч. пособие. – Санкт-Петербург, 2007. – 152 с.
189. 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.
190. Олефирова А. П. Идентификация пищевых продуктов (органолептиче-ская оценка) при обязательной сертификации. Методические указания к лабора-торным работам по дисциплине "Сертификация пищевых про-дуктов"— Улан-Удэ : ВСГТУ, 2002. — 27 с.
191. Олейникова А.Я., Магомедов Г.О., Мирошникова Т.Н. Практикум по технологии кондитерских изделий. – СПб.: ГИОРД, 2005. – 480 с.
192. Олссон Г., Пиани Д. Цифровые системы автоматизации и управления – СПб.: Невский диалект, 2001.
193. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации = Sieci neu-ronowe do przetwarzania informacji (польск.) / Станислав Осовский . — М. : Финансы и статистика, 2004 — 343 с.
194. Остапчук Н.В. Основы математического моделирования процессов пи-щевых производств: Учебное пособие. – 2 –е изд., перераб. и доп. – К.: Выща шк., - 1991. – 367 с.
195. Панищев В. С. Методы, высокопроизводительные алгоритмы и устройства обра-ботки изображений с использованием нейроподобных структур: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.05. - М., 2005. – 18 с.
196. Панищев В. С. Методы, высокопроизводительные алгоритмы и устрой-ства обра-ботки изображений с использованием нейроподобных струк-тур: Дис. ...канд. техн. наук: 05.13.05 / Курск, 2005, 148 с.
197. Панфилов В.А. Оптимизация технологических систем кондитерского производ-ства. Стабилизация качества продукции. – М.: Пищевая пром-сть. 1980. – 248 с.
198. Петров А.Ю., Благовещенская М.М., Благовещенский В.Г., Ионов А.В., Благове-щенский И.Г. Главные принципы при построении системы ком-пьютерного зрения в хлебопекарной промышленности // Интеллектуаль-ные системы и технологии в отрас-лях пищевой промышленности. Сбор-ник материалов конференции. 2019. С. 121-126.

199. Петряков А.Н., Благовещенская М.М., Благовещенский В.Г., Крылова Л.А. Применение метода объектно-ориентированного программирования для контроля показателей качества кондитерской продукции Кондитерское и хлебопекарное производство. 2018. № 5-6 (176). С. 21-23.
200. 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.
201. Писаревский, А.Н. Системы технического зрения (принципиальные основы, аппаратное и математическое обеспечение) / А.Н. Писаревский, А.Ф. Чернявский, Г.К. Афанасьев. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1988. – 424 с.
202. Письменный В. В. Вероятностные методы распознавания для контроля показателей качества // Химическая промышленность, 1976, № 7.
203. Подлегаева Т. В. Методы исследования свойств сырья и продуктов питания : Учеб. пособие / Т. В. Подлегаева, А. Ю. Просеков. — Кемерово : КемТИПП, 2004. — 101 с.
204. Пожарникова Е. Н. Сенсорный анализ продовольственных товаров / Е. Н. Пожарникова, Н. А. Феоктистова, Д. А. Васильев. — Ульяновск : УГСХА, 2008. — 87 с.
205. Потапов А. А. Новейшие методы обработки изображений / Под ред. А.А. Потапова - М.: ФИЗМАТЛИТ. - 2008. - 496 с.
206. Потемкин В.Г. Система МАТЛАВ. Справочное пособие – М.: Диалог-МИФИ, 1997.
207. 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.
208. Ребриков Д.И. Автоматизированная система определения равномерности окраски поверхности // Межвузовский сборник научных трудов «Системы управления и информационные технологии». – Воронеж: 2009. №2.2 .
209. 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.
210. Рейер И. А. Методы анализа формы изображений на основе непрерывного гранично-скелетного представления: Дис. ... канд. техн. наук: 05.13.11/ М., 2004. – 168 с.
211. Рогов И. А. Физические методы обработки пищевых продуктов / И. А. Рогов, А. В. Горбатов. — М. : Пищевая промышленность, 1974. — 582 с.
212. Родина Т.Г., Вукс Г.А. Дегустационный анализ продуктов. – М.: Ко-лос, 1994. – 128 с.
213. Руденко О.В. Высокоточное нейросетевое распознавание в системах технического зрения : Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01. - М., 2011. – 23 с.
214. 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.
215. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы – М.: Горячая линия-телеком, 2006.– 264 с.

216. Савостин С.Д., Благовещенская М.М., Благовещенский И.Г. Автоматизация контроля показателей качества муки в процессе размола с использованием интеллектуальных технологий / С.Д. Савостин, М.М. Благовещенская, И.Г. Благовещенский // Монография. - М.: Изд-во Франтера, 2016. – 146 с.
217. Савостин С.Д. и др. Использование цифровой видеокамеры в качестве интеллектуального датчика системы автоматического регулирования процесса формирования гранулированных комбикормов / Благовещенская М.М., Семина Н.А., Савостин С.Д. // «Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий», №2, 2014. – с. 48 - 56.
218. Селиванова А. А. Сенсорометрический метод в оценке качества пищевых жиров и масел: Автореф. дис. ... канд. хим. наук: 02.00.02. - Воронеж, 2011. – 23 с.
219. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов. – 2-е изд.– СПб.: ЛЭТИ, 2006. – 751 с.
220. Сигеру О. Нейроуправление и его приложения (Neuro-Control and its Applications) / О. Сигеру, Х. Марзуки, Ю. Рубия – 2-е. – М.: ИПРЖР, 2000. – 272 с.
221. Синенков Д. В. Методы и средства формообразования объектов изображения: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.17. - Н.Новгород, 2003. – 25 с.
222. Скобельская З.Г., Горячева Г.Н. Технология производства сахарных кондитерских изделий. Учебник. - М.: ИРПО. 2002. – 316 с.
223. Сорокопуд А. Ф. 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.
224. 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.
225. Терехов В. А. Нейросетевые системы управления: Учеб. пособие для вузов / В. А. Терехов, Д. В. Ефимов, И. Ю. Тюкин. — М.: Высш. шк., 2002. — 183 с.
226. Тимофеева В. А. Товароведение продовольственных товаров : Учебник. — 12-е изд., перераб. и доп. — Ростов н/Д : Феникс, 2013. — 494 с.
227. Тихонов А.Н. Методы решения некорректных задач / Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. - М.: Наука. - 1979. - 288 с.
228. Тьюки, Д.У. Анализ результатов наблюдений. – М.: Мир, 1981. – 693 с.
229. Ту Дж. Принципы распознавания образов. / Дж. Ту, Р. Гонсалес. Пер. с англ. – М.: Мир, 1978. – 368 с.
230. Феоктистова Н.А. Модели количественного оценивания качества продовольственных товаров. - М.: «LAPLAMBERT» Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. – 158 с.
231. Фисенко В.Т. Компьютерная обработка и распознавание изображений: Учеб. пособие / В.Т. Фисенко, Т.Ю. Фисенко. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. – 192 с.
232. Форсайт Дэвид А. Компьютерное зрение. Современный подход: Пер. с англ. / Дэвид А. Форсайт, Жан Понс. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 928 с.
233. Фролов А. А. Нейронные модели ассоциативной памяти / А. А. Фролов, И. П. Муравьев. — М. : Наука, 1987. — 159 с.
234. Хайкин С. Нейронные сети / Саймон Хайкин. Пер. с англ. — 2-е изд. — М.: Вильямс, 2006. — 1103 с.

235. Хамханова Д. Н. Исследование качества алгоритмов обработки квали-метрической информации : Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.11.15. - СПб., 2002. – 24 с.
236. Хассан Г. Проектирование систем реального времени, параллельных и распределенных приложений / Гома Хассан. – М.: ДМК, 2002. – 704 с.
237. 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.
238. 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.
239. Чернов Е.А. Обобщенное представление спектральных данных на плоскости 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.
240. Шаверин А. В. Автоматизация контроля показателей вкуса шоколадных изделий : Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06. – М., 2009. – 21 с.
241. 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.: Изд. комплекс МГУПП, 2012. с. 209 – 212.
242. Шапиро, Л. Компьютерное зрение / Л. Шапиро , Дж. Стокман. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2006. – 752 с.
243. 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.
244. Шторх Л.В. Совершенствование технологии хлеба для школьного питания с применением автоматизированной системы контроля цвета изделий. : Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.01. и 05.13.06 – Воронеж, 2013. – 21 с.
245. 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 Валеевна. — Воронеж, 2013. — 242 с.
246. Черных И. Simulink: среда создания инженерных приложений – М.:Диалог-МИФИ, 2003.
247. Яковенко М. К. Разработка алгоритма распознавания сложных объектов на основе текстурной информации: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01. – СПб., 2003. – 24 с.
248. Яковлев А. В. Методы, модели и алгоритмы формирования и анализа изображений в системе контроля качества материалов и продукции машиностроительного предприятия: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01 – М., 2003. – 18 с.
249. 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 / Про-софт. – М., 2003. – 168 с.
250. Яне Б. Цифровая обработка изображений / Б. Яне. Пер. с англ. – М.: Техносфера. - 2007. - 584 с.

251. Яньков В.Ю. Решение прикладных задач в пакете Маткад / В.Ю. Яньков, А.А. Попов, Г.А. Бобырь. – М.: Издательство «Спутник+», 2011. – 368 с.
252. Ярославский Л.П. Введение в цифровую обработку изображений. -М.:Советское радио. - 1979. - 312 с.
253. Ясницкий Л. Н. Введение в искусственный интеллект / Л. Н. Ясницкий. – 1-е изд. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 176 с.
254. Addison, P.S. The Illustrated Wavelet Transform Handbook / P.S. Addison – IOP Publishing Ltd, 2002. – 362 p.
255. Agoston M.K. Computer Graphics and Geometric Modeling - Springer. - 2004. - 920 p.
256. 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. - P.206-214.
257. Ball G. H. ISODATA, a novel method of data analysis and pattern classification / G. H. Ball, D. J. Hall – STANFORD RESEARCH INST MENLO PARK CA. 1965.
258. 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. - 1990. -Vol. 28., №4. - P. 540-552.
259. Blagoveshchenskaya M.M., Blagoveshchenskiy V.G., Rogelio S.C.M., Petryakov A.N. Development of a neural network model for controlling the process of dosing bulk food masses // Journal of Physics: Conference Series. Сер. "Fundamental and Applied Problems of Mechanics, FAPM 2019" 2020. С. 012027.
260. Blagoveshchenskiy I.G., Blagoveshchenskiy V.G., Besfamilnaya E.M., Sumerin V.A. Development of databases of intelligent expert systems for automatic control of product quality indicators // Journal of Physics: Conference Series. Сер. "Fundamental and Applied Problems of Mechanics, FAPM 2019" 2020. С. 012019.
261. Blagoveschensky I.G., Petryakov A.N., Blagoveschensky V.G. Using depth map algorithms to improve the quality of object identification on digital stereo images // Journal of Physics: Conference Series. Сер. "International Meeting - Fundamental and Applied Problems of Mechanics" 2019. С. 012021.
262. Benosman, Ryad. Panoramic vision : Sensors, theory, a. Applications / Benosman Ryad, Sing Bing Kang, ed. – New York [etc.]Springer Cop. 2001. XXIV, 449 с.
263. Bottou L. Convergence Properties of the K-Means Algorithms / L. Bottou, Y. Bengio // Advances in Neural Information Processing Systems 7, [NIPS Conference, Denver, Colorado, USA, 1994]. - 1994. - P. 585-592.
264. 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.
265. Fattal R. Upsampling via Imposed Edges Statistics // Proc. ACM SIG-GRAPH. - 2007. - V.26, N.3. - p.95.
266. Fisher, R.A. The Use of Multiple Measurements in Taxonomic Problems / R.A. Fisher // Annals of Eugenics. – 1936 T.7. – p.p. 179-188.
267. Garcia L.A., Arguesso F., Garcia A.I., Diaz M. Application of neural networks for controlling and predicting quality parameters in beer fermentation – Journal of industrial microbiology, 1995.
268. 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, 2007. – 340 p.

269. 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 (abstracts volume 1). Moscow – 2008. – June 20–25. – 55 p.
270. Haykin S., Neural networks a Comprehensive Foundation, Second Edition – Prentice Hall, Inc., 1999.
271. Kohonen T., "Self-Organizing Maps", Springer, 2005.
272. Kohonen T., Huang T.S., Schroeder M.R. "Self-Organizing Maps"(Third edition), Springer, 2003.
273. Komarinskiy, S. The Cognitive Visualization System Astronomical Data Analysis Software and Systems (ADASS) XVII / S. Komarinskiy, V. Vitkovskiy, V. Gorohov, D. Zakharovski – Editors: Argyle, Robert W.; Bunclark, Peter S.; Lewis, James R. London, UK 2008. – 394 p.
274. Mahnke W OPC Unified Architecture – Springer-Verlag, 2009.
275. Legin A., Rudnitskaya A., Vlasov Yu. In: Integrated Analytical Systems, Comprehensive Analytical Chemistry. V. XXXIX. Ed. S. Alegret. Amsterdam: Elsevier, 2003.
276. Newton D. E. Food Chemistry - Facts On File, Inc., 2007.
277. Sun D.W. Modern Techniques for food authentication – Academic Press, 2008.
278. Trion R.G. Cluster analysis – L.: Ann Arbor Edwards Bros., 1997.
279. Wong M.A. A hybrid clustering method for identifying high – JASA, 1982.
280. 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, 2003.

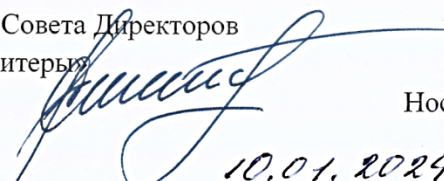
АКТ ВНЕДРЕНИЯ

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



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»

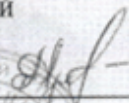
Настоящий акт подтверждает, что основные результаты диссертационной работы Благовещенского Владислава Германовича, кандидата технических наук, доцента кафедры «Прикладная информатика» ФГБОУ ВО «МИРЭА - Российский технологический университет» по специальности 2.3.3 «Автоматизация и управление технологическими 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/



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» 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 много-связной 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



**ТЕХНОПАРК
НИИВК**

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ
ИМ. М. А. КАРЦЕВА»



ОРДЕН
ТРУДОВОГО КРАСНОГО
ЗНАМЕНИ
1986



БЛАГОДАРНОСТЬ
ПРАВИТЕЛЬСТВА
РОССИИ
2017



ПОЧЕТНАЯ ГРАМОТА
ИЗДА
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»

ул. Профсоюзная, дом 108, Москва, 117437

+7 495 330 09 29
postoffice@niivk.ru

ОГРН 1037700128828
ИНН 7728032882



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.



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.