

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ» (ФГБОУ ВО «МГУПП»)**

На правах рукописи

**БЛАГОВЕЩЕНСКИЙ ВЛАДИСЛАВ GERMAHOVИЧ**

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

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

Диссертация  
на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

**Научный руководитель:**  
Краснов Андрей Евгеньевич  
доктор физико-математических  
наук, профессор

Москва – 2021

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	7
ГЛАВА 1. ЗАДАЧА АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОИЗВОДСТВА ХАЛВЫ И АНАЛИЗ МЕТОДОВ ЕЕ РЕШЕНИЯ.....	19
1.1. Изучение технологического процесса производства халвы как объекта автоматизации.....	19
1.1.1. Исследование особенностей процесса производства халвы.....	21
1.1.2. Анализ основных стадий процесса производства халвы .....	23
1.1.3. Выбор основных факторов процесса производства халвы, определяющих эффективность всех операций .....	25
1.1.4. Схема влияния параметров качества сырья на качество по фабрикатам и готовых конфет халвы в процессе производства.....	28
1.1.5. Определение необходимых точек контроля и регулирования в структурной схеме процесса производства халвы.....	36
1.2. Исследование существующих способов определения качества халвы.....	37
1.2.1. Основные задачи систем автоматизированного контроля и управления качеством халвы .....	37
1.2.2. Наиболее важные органолептические показатели качества, контролируемые на каждой стадии производства халвы .....	38
1.2.3. Анализ существующих методов контроля органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий в процессе производства подсолнечной халвы .....	41
1.2.4. Оценка новых инструментальных систем контроля органолептических показателей качества продукции.....	44
1.2.5. Выбор наиболее важных органолептических показателей качества, подлежащих автоматическому контролю онлайн при производстве халвы .....	51
1.3. Современное состояние методов и систем управления качеством продукции на промышленных предприятиях .....	52
1.3.1. Понятие качество продукции .....	52
1.3.2. Существующие системы управления качеством .....	53
1.4. Существующие на кондитерских предприятиях системы управления качеством пищевой продукции.....	55
1.5. Системный анализ и формулирование проблемы .....	59
1.5.1. Разработка структуры целей .....	59
1.5.2. Создание системной диаграммы решения проблемы.....	63

1.5.3. Разработка концептуальной структурно- динамической модели системы управления качеством халвы в процессе производства.....	69
1.6. Разработка стратегической карты и критериев управления.....	70
1.7. Выводы по 1 главе .....	73
1.8. Цель и задачи исследования .....	75
<b>ГЛАВА 2.СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ, АЛГОРИТМОВ И ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ АСУ КАЧЕСТВОМ ХАЛВЫ.....</b>	<b>77</b>
2.1. Проблемы управления технологическими процессами производства халвы и пути их преодоления.....	77
2.2. Оценка возможностей практического применения различных методов, алгоритмов и классов адаптивных систем для управления производством халвы.....	78
2.3. Анализ особенностей использования методов искусственного интеллекта в решении задач интеллектуализации управления качеством производства халвы.....	79
2.3.1. Общая характеристика методов искусственного интеллекта.....	79
2.3.2. Интеллектуальные информационные системы как важнейшее направление искусственного интеллекта. Особенности. Признаки. Функции. Специфика использования .....	83
2.3.3. Перспективы использования высокоэффективных технологий ИИС в решении задач интеллектуализации управления качеством халвы.....	87
2.3.4. Анализ возможности интеллектуализации системы управления качеством производства халвы .....	96
2.4. Основные результаты и выводы по 2 главе. ....	97
<b>ГЛАВА 3.ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННЫХ, СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ, МАТЕМАТИЧЕСКИХ И СИТУАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ОСНОВНЫХ ЭТАПОВ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ХАЛВЫ .....</b>	<b>98</b>
3.1. Мультиагентное имитационное моделирование процесса производства халвы с использованием ПО AnyLogic.....	98
3.2. Анализ ТП производства халвы с использованием матрицы экспертных оценок влияния входных параметров на показатели качества халвы на всех стадиях производства.....	103
3.2.1. Результаты опроса экспертов-технологов по оценке влияния входных параметров на этап подготовки сырья к производству халвы .....	104
3.2.2. Результаты опроса экспертов-технологов по оценке влияния входных параметров на процессы приготовления сахарного сиропа .....	105

3.2.3. Результаты опроса экспертов-технологов по оценке влияния входных параметров на этап на процессы приготовления карамельного сиропа.....	107
3.2.4. Результаты опроса экспертов-технологов по оценке влияния входных параметров на процессы уваривания и сбивания карамельной массы.....	108
3.2.5. Результаты опроса экспертов-технологов по оценке влияния входных параметров на процессы вымешивания халвы.....	1099
3.2.6. Результаты опроса экспертов-технологов по оценке влияния входных параметров на процессы формования халвы.....	110
3.3. Получение параметрических и математических моделей всех стадий производства подсолнечной халвы .....	111
3.3.1. Способы построения параметрических моделей всех стадий производства подсолнечной халвы .....	111
3.3.2. Получение параметрических и математических моделей всех стадий производства халвы.....	113
3.3.2.1. Параметрическая и математическая модели (ПММ) процесса подготовки сырья к производству .....	113
3.3.2.2. ПММ процесса приготовления сахарного сиропа.....	115
3.3.2.3. ПММ процесса приготовления карамельного сиропа .....	118
3.3.2.4. ПММ процесса сбивания карамельных масс .....	120
3.3.2.5. ПММ процесса вымешивания массы халвы .....	123
3.3.2.6. ПММ процесса формования корпусов конфет халвы.....	124
3.4. Ситуационное моделирование ТП производства халвы.....	126
3.5. Выводы по 3 главе .....	128
<b>ГЛАВА 4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ КОНТРОЛЯ В ПОТОКЕ ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ХАЛВЫ И РАЗРАБОТКА НА ИХ БАЗЕ ФСА</b>	
4.1. Постановка задачи автоматического контроля в потоке органолептических показателей качества халвы в процессе производства.....	130
4.2. Разработка модуля (программно-аппаратного комплекса) автоматического контроля в потоке органолептических показателей качества сырья с использованием системы технического зрения .....	132
4.2.1. Применение технического зрения для автоматизации контроля в потоке коэффициента извлечения примесей.....	134
4.2.2. Применение технического зрения для автоматического контроля в потоке внешнего вида семян подсолнечника .....	150
4.2.3. Структурная организация модуля автоматического контроля в потоке органолептических показателей качества семян подсолнечника .....	153

4.3. Применение нейросетевых технологий для управления качеством подсолнечной халвы в процессе производства.....	156
4.3.1. Оценка возможностей применения нейросетевых технологий для управления качеством подсолнечной халвы.....	156
4.3.2. Использование нейросетевых технологий для решения проблемы мониторинга и управления процессом сепарирования семян подсолнечника.	159
4.4. Программирование логического контроллера для создания ИАСУК подсолнечной халвы .....	161
4.5. Разработка ФСА основных стадий производства подсолнечной халвы.	163
4.5.1. ФСА процесса сепарирования семян подсолнечника .....	163
4.5.2. ФСА процесса приготовления сахарного сиропа для производства халвы.....	164
4.5.3. ФСА процесса приготовления карамельного сиропа для производства халвы.....	165
4.5.4. ФСА процесса взбивания карамельных масс для производства халвы.....	166
4.5.5. ФСА процесса вымешивания массы халвы .....	167
4.5.6. ФСА процесса формования корпусов конфет халвы.....	168
4.6. Основные результаты и выводы по 4 главе .....	169
<b>ГЛАВА 5. ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ХАЛВЫ .....</b>	<b>172</b>
5.1. Основные задачи интеллектуальной автоматизированной системе управления качеством халвы в процессе производства.....	172
5.2. Обобщенная функциональная структура ИАСУК халвы и основные этапы ее реализации .....	173
5.3. Разработка основных видов обеспечения ИАСУКХ.....	176
5.3.1. Информационная инфраструктура обеспечения интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы .....	176
5.3.2. Математическая инфраструктура обеспечения интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы .....	178
5.3.3. Программная инфраструктура обеспечения интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы .....	180
5.3. Основные этапы методики принятия решений о качестве готовых изделий в процессе производства халвы .....	183
5.5. Подбор технических средств для реализации ИАСУКХ.....	184

5.6. Выводы по 5 главе .....	188
ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ .....	190
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ .....	193
ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ РАБОТЫ .....	194
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	201
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 .....	216
ПРИЛОЖЕНИЕ 2 .....	217

## **ВВЕДЕНИЕ**

### **Актуальность темы**

В настоящее время пищевая и перерабатывающая промышленность России представляет собой одну из стратегических отраслей экономики, которая призвана обеспечить население страны необходимыми по количеству и качеству продуктами питания [5]. Кондитерская промышленность по своим размерам занимает четвертое место среди пищевых отраслей (следуя за хлебопекарной, молочной и рыбной). На неё приходится 10% занятости всей пищевой промышленности. Рост производительности в кондитерской отрасли будет способствовать росту производительности всей пищевой промышленности, а, следовательно, и повышению уровня экономического развития страны и уровня жизни населения [6].

Анализ состояния автоматизации технологических процессов кондитерских производств показывает, что на действующих предприятиях из-за частой смены ассортимента кондитерских изделий, многомерности, больших объемов производимой продукции, нелинейности, многоканальности производственной информации отсутствуют эффективные современные системы управления качеством производимых изделий. Поэтому существует значительный потенциал повышения качества и эффективности производства кондитерских изделий за счет внедрения интеллектуальных технологий.

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, автоматизация контроля важнейших показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых конфет позволяет в дальнейшем на базе полученных результатов перейти к разработке интеллектуальных систем управления, позволяющих осуществлять своевременное автоматическое

изменение технологических параметров процесса и режимов работы используемого оборудования [10, 12].

Интеллектуальные системы автоматического управления качеством кондитерской продукции позволят своевременно предупреждать появление дефектов и несоответствий хода протекающих процессов производства конфет.

Для разработки таких систем необходима, в первую очередь, автоматизация контроля в потоке основных показателей качества и создания, на этой основе, автоматизированных систем управления с использованием технологий искусственного интеллекта. Разработка такого комплекса управления дает возможность постоянно, в потоке определять и прогнозировать качество сырья, полуфабрикатов и готовой продукции; обеспечить стабильность производства кондитерских изделий, а, следовательно, повысить качество производимых конфет, существенно уменьшить потери рабочего времени и снизить уровень брака готовой продукции [5, 13, 16, 19, 21].

Решение этих актуальных задач является крупной теоретической и практической проблемой, позволяющей значительно повысить эффективность сложных многостадийных кондитерских производств [25, 27, 52, 56, 63, 65].

Для исследования перспектив решения данной проблемы была рассмотрена, исследована и проанализирована линия производства халвы, поскольку халва - ценный пищевой продукт, содержащий значительное количество жира, минеральных веществ, витаминов В и Е, углеводов и полноценных белковых веществ. При этом халва превосходит шоколад по пищевой ценности, а по содержанию жира и калорийности - близка к шоколаду [16, 54, 75, 89, 102].

На современном этапе развития технологии, основанные на искусственном интеллекте, и методы их применения успешно совершенствуются. На базе работ известных ученых: А.Н. Австриевских, С.И. Апанасенко, В.К. Битюкова, М.М. Благовещенской, И.Г. Благовещенского, М.В. Жирова, Ю.А. Ивашкина, А.Я. Красинского, С.А. Красникова, А.Е. Краснова, О.П. Красули, В.В. Митина, С.В.

Николаевой, Остапчука Н.В., С.Д. Савостина, А.В. Татарина, В.Я. Черных, Е.Д. Чертова, А.В. Шаверина и др. [1, 4, 9, 10, 26 – 31, 58, 59, 63 – 65, 97, 101, 102, 106 и др.], накоплен значительный объем информации по автоматизации технологических процессов пищевых производств с применением высокоэффективных информационных технологий.

Актуальными исследованиями создания и внедрения систем искусственного интеллекта в России занимались: Институт вычислительного моделирования СО РАН, Пермская научная школа искусственного интеллекта, ЗАО «Научно-исследовательский центр математического моделирования и нейросетевых технологий и др. [7, 8, 12, 13, 15, 26, 36].

В результате проведенного обзора и анализа научной литературы, посвященной этой проблеме установлено, что структурно-параметрическим и оптимизационным моделированием пищевых масс занимались, М.М. Благовещенская, А.Б. Борзов, А.В. Татарин [5, 6, 10, 11, 70, 71]. Кроме того, И.Г. Благовещенским, М.А. Никитиной и Е.А. Назойкиным были защищены диссертации в области математического моделирования пищевых производств [26 – 29]. Исследования в этой области проводили Д. Рутковская, Я.В. Иванов, Ю.А. Ивашкин, 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 [7, 40, 46, 57, 58, 59, 85, 86, 89, 91, 96 и др.]. Вместе с тем защищены диссертационные работы, посвященные вопросам использования ИНС 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) [4, 26 – 31, 57, 60, 61, 89, 90, 97, 101, 102].

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

В то же время, изученное нами состояние процессов производства пищевых продуктов, показало, что большинство авторов занимались моделированием и автоматизацией управления производством изделий мукомольной, пивоваренной, молочной промышленности, а также производством помадных кондитерских изделий. Производство халвы — это сложный многоэтапный процесс, автоматизация которого осуществить достаточно трудно в силу специфических свойств данной продукции. Многие важные проблемы автоматизации и развития процессов сепарирования семян подсолнечника до сих пор не рассматривались. При создании интеллектуальных автоматизированных систем контроля и управления качеством подсолнечной халвы в процессе ее производства, остаются актуальными следующие проблемы:

- отсутствие методов и подходов использования интеллектуальных технологий для автоматического контроля в потоке органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и подсолнечной халвы в процессе ее производства, исключающих субъективность при органолептическом способе оценки качества сырья и готового продукта;
- отсутствие методик применения нейросетевых регуляторов для управления качеством халвы по органолептическим показателям;
- отсутствие технических и технологических рекомендаций для создания интеллектуальной системы, определяющей в автоматическом режиме качество халвы;
- отсутствие разработанной интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством подсолнечной халвы в процессе производства с включением всех видов ее обеспечения: информационного, математического и программного.

Таким образом, на основании вышеизложенного можно оценить тему диссертационной работы «Интеллектуальная автоматизированная система

управления качеством халвы с использованием гибридных методов и технологий», как актуальную, и соответствующую паспорту специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в пищевой промышленности) по пунктам: «2. Автоматизация контроля и испытаний», «3. Методология, научные основы и формализованные методы построения автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП), а также технической подготовкой производства (АСТПП) и т.д.», «4. Теоретические основы и методы математического моделирования организационно-технологических систем и комплексов, функциональных задач и объектов управления и их алгоритмизация», «6. Научные основы, модели и методы идентификации производственных процессов, комплексов и интегрированных систем управления», «8. Формализованные методы анализа, синтеза, исследования и оптимизация модульных структур систем сбора и обработки данных в АСУТП, АСУП, АСТПП и др.», «9. Методы эффективной организации и ведения специализированного информационного и программного обеспечения АСУТП, АСУП и др., включая базы и банки данных и методы их оптимизации», «10. Методы синтеза специального математического обеспечения, пакетов прикладных программ и типовых модулей функциональных и обеспечивающих подсистему АСУТП, АСУП, АСТПП и др.», «12. Методы контроля, обеспечения достоверности, защиты и резервирования информационного и программного обеспечения АСУТП, АСУП и др.», «15. Теоретические основы, методы и алгоритмы интеллектуализации решения прикладных задач при построении АСУ широкого назначения».

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

**Целью** диссертационной работы является повышение эффективности производства халвы и обеспечения стабильности ее качества на основе разработки интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы с применением гибридных методов и технологий (системы

технического зрения, методов искусственных нейронных сетей и имитационного моделирования).

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

- Проведение анализа особенностей ТП производства подсолнечной халвы (ПХ) и протекающих в них информационных процессов с целью выявления факторов, нарушающих устойчивое функционирование системы, и разработки нового подхода к автоматизации контроля и управления качеством ПХ с использованием интеллектуальных технологий.

- Осуществление системного анализа методов, алгоритмов и технологий для их использования при разработке интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы.

- Проведение экспериментальных исследований с целью разработки имитационных, структурно- параметрических, математических и ситуационных моделей основных этапов процессов производства подсолнечной халвы.

- Осуществление анализа методов и подходов использования в потоке интеллектуальных технологий для автоматического контроля наиболее значимых органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой халвы и разработка на их базе виртуальных и интеллектуальных датчиков.

- Разработка информационного, математического и программного обеспечения интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы.

- Подбор технических средств для реализации интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы в процессе производства.

- Проведение практической апробации разработанных моделей, алгоритмов, способов, а также разработанных принципов и методов создания интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы на

действующем кондитерском предприятии с целью повышения эффективности работы линии.

- Внедрение результатов исследования в учебный процесс и научные исследования.

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

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

**Методы и средства исследований.** Поставленные в работе задачи решены с использованием методологических и математических основ построения интеллектуальных систем управления, методики построения реляционных баз данных, основных положений теории автоматического управления, теории нейронных сетей, теории цифровой обработки изображений, общих принципов математического моделирования, элементов теории искусственного интеллекта, методов системного анализа и математической статистики. Численная и графическая обработка результатов исследований производилась с применением MatLab и Anylogic.

**Научная новизна и теоретическая значимость** диссертации заключается в разработке перспективного научного направления в области широкого использования в пищевой промышленности методов и технологий искусственного интеллекта для создания с использованием системы технического зрения, искусственных нейронных сетей, имитационного моделирования интеллектуальных автоматизированных систем управления

качеством кондитерской продукции с функциями контроля в потоке органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых конфет халвы.

К наиболее существенным научным результатам работы относятся следующие.

1. Разработаны и предложены новые функционально - структурные схемы (ФСС) формирования качества халвы с указанием необходимых точек контроля и регулирования, а также функциональные схемы автоматизации (ФСА) основных этапов процессов производства халвы с включением в эти схемы интеллектуальных датчиков автоматического контроля в потоке органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых конфет халвы.

2. На основе структурно - параметрического и мультиагентного имитационного моделирования разработаны имитационная модель и параметрические, математические и ситуационные модели основных стадий ТП производства халвы.

3. Разработаны с использованием искусственных нейронных сетей (ИНС) и систем технического зрения (СТЗ) интеллектуальные модули автоматического контроля в потоке коэффициента извлечения примесей в семенах подсолнечника и внешнего вида семян (размер, цвет, состояние поверхности, целостность) в режиме реального времени.

4. Предложена методика разработки базы данных (БД) и формирования базы знаний (БЗ) интеллектуальной автоматизированной системы управления для идентификации, прогнозирования, диагностики и управления качеством халвы в процессе ее производства.

5. Разработаны основные виды обеспечения интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы (ИАСУКХ): информационное, математическое и программное.

6. Разработана методика построения ИАСУКХ с использованием имитационного моделирования (ИМ), системы технического зрения (СТЗ) и искусственных нейронных сетей (ИНС).

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

В результате проведенных исследований продемонстрированы возможности осуществления автоматического контроля в потоке коэффициента извлечения примесей в семенах подсолнечника и внешнего вида семян (размер, цвет, состояние поверхности, целостность) в режиме реального времени с последующим созданием на их базе ИАСУК продукции кондитерской промышленности.

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

1. Разработаны интеллектуальные датчики автоматического контроля коэффициента извлечения примесей в семенах подсолнечника и внешнего вида семян (размер, цвет, состояние поверхности, целостность) в режиме реального времени.

2. Разработана база данных и база знаний ИАСУКХ.

3. Разработано информационное, математическое и программное обеспечение интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы.

4. Проработаны технические решения для реализации интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы в процессе производства. Осуществлен подбор технических средств для реализации этой интеллектуальной системы.

Разработанные методы, модели, алгоритмы, способы, структуры и программы прошли апробацию и были переданы для внедрения на кондитерских предприятиях Холдинга «Объединенные кондитеры», что подтверждается соответствующим актом внедрения научно-технической продукции (Приложение 1).

Полученные в рамках настоящего исследования научные и практические результаты диссертационной работы внедрены в учебном процессе кафедры «Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами» ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств» для бакалавров направлений 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств», 15.03.06 «Мехатроника и робототехника», 27.03.04 «Управление в технических системах», а также магистров направлений 09.04.01 «Информатика и вычислительная техника» и 27.04.04 «Управление в технических системах». Имеется соответствующий акт внедрения (Приложение 2).

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

### **Апробация работы**

Основные результаты выполненных исследований были представлены на международных и всероссийских научно-практических конференциях: «Глобальный продовольственный Форум», Москва, 2021; «Цифровизация пищевой промышленности и продовольственных систем», Москва, 2021; II международной научно-практической конференции «Цифровизация Агропромышленного комплекса», Тамбов, 2020; II международной специализированной конференции-выставке «Фабрика будущего: переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам для отраслей пищевой промышленности», МГУПП, 2020; II научно-практической конференции с международным участием «Устойчивое развитие: сектор упаковки», МГУПП, 2020; Международной научно-практической конференции «Интеллектуальные системы и технологии в

отраслях пищевой промышленности», МГУПП. 2019; Conference Series. Ser. «Inter-national Meeting – Fundamental and Applied Problems of Mechanics», Bauman Moscow State Technical University. 2019; I научно-практической конференции с международным участием «Передовые пищевые технологии: состояние, тренды, точки роста», МГУПП. 2018; Научной конференции с международным участием «Современное состояние и перспективы развития упаковки в пищевой промышленности», МГУПП. 2018; V международной научно-практической конференции «21 век фундаментальная наука и технологии» («21 century: fundamental science and technology V») ,10-11 ноября 2017 г., North Charleston, USA; VIII Заочной научно-технической конференции «Безопасность и качество продуктов питания. Наука и образование», МГУПП, 2017; Научной конференции с международным участием «Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности России: кадры и наука», МГУПП, 2017; X Всероссийской конференции молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям, Кемерово, 18 – 19 сентября 2017 г., Институт вычислительных технологий СО РАН; IV-ой Всероссийской студенческой научной конференции «Молодежная наука – пищевой промышленности».

Содержание отдельных разделов и диссертация в целом были доложены и получили одобрение на расширенных заседаниях кафедры «Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами» ФГБОУ ВО «МГУПП».

Результаты, полученные в процессе выполнения диссертационной работы, были использованы при проведении научных исследований по гранту Президента РФ «Разработка методологии применения мультиагентных имитационных технологий на предприятиях пищевой промышленности для прогнозирования производственного процесса». Получены многочисленные дипломы и грамоты за научные доклады на вышеперечисленных конференциях.

По итогам данной работы подготовлены и поданы две заявки на изобретения.

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

**Структура и объем работы.**

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

# ГЛАВА 1. ЗАДАЧА АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОИЗВОДСТВА ХАЛВЫ И АНАЛИЗ МЕТОДОВ ЕЕ РЕШЕНИЯ

## 1.1. Изучение технологического процесса производства халвы как объекта автоматизации

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 с массовой долей жира не менее 25% (рисунок 1.1) [16, 19, 49, 82].



Рисунок 1.1. Сырье для производства халвы: семена подсолнечника, орехи

Халва является весьма востребованным в линейке кондитерских изделий пищевым продуктом, благодаря её вкусовым и питательным свойствам. Поскольку халва обладает такими беспримесными ингредиентами, как орехи и семена подсолнечника, эти конфеты - вкусные, питательные и полезные, прекрасно сочетающиеся с рядом других продуктов, снискали популярность и получили широкое распространение у покупателей кондитерской продукции [1, 11, 21, 48, 52, 75, 98, 104].

Широко используемые при производстве халвы семена подсолнечника применяются в сыром или в обжаренном виде. После обжаривания орехи и семена подсолнечника приобретают еще более ярко выраженный вкус и аромат. Также при производстве халвы используются орехи и семена подсолнечника в целом, дробленном и растертом виде, при этом они лучше усваиваются организмом [76, 82, 85].

В зависимости от используемого сырья халву подразделяют на: ванильную; подсолнечно - ореховую; кунжутную (тахинную); арахисовую; ореховую; подсолнечную; комбинированную (при одновременном использовании двух или более видов жиросодержащего растительного сырья). В зависимости от технологии производства и рецептуры халву подразделяют на глазированную, неглазированную, с добавлениями (дробленых орехов, изюма, цукатов и др. пищевых ингредиентов) и без добавлений (рисунок 1.2.).



Рисунок 1.2. Виды халвы

Наиболее часто вырабатывают халву подсолнечную и подсолнечную с орехами. Спросом пользуются также ванильная, тахинная (кунжутная), тахинная с орехами, тахинно – шоколадная халва, поскольку эти кондитерские изделия обладают прекрасным вкусом, доступны по цене и привычны для нашего потребителя. Но самой распространенной является халва подсолнечная, которую изготавливают в композиции с ванилью, орехами, арахисом, изюмом, с "хрустящими палочками" и т.п. [49, 85]. Такое многообразие применяемого сырья позволяет выпускать самые разнообразные виды подсолнечной халвы (рисунок 1.3.).



Рисунок 1.3. Виды подсолнечной халвы

Следует отметить, что в связи с повышенным интересом в мире к натуральному питанию, население страны стало включать такие продукты в свой рацион в большем объеме. Поэтому для производителей при производстве халвы особое значение приобретает такое сырье, как семена подсолнечника и ядра орехов, которые являются натуральными продуктами. Это позволяет кондитерским предприятиям постоянно расширять ассортимент халвы с применением различного вида натурального сырья.

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 технологическая линия по производству подсолнечной халвы. Спрос на подсолнечную халву объясняется высоким качеством этих кондитерских изделий, постоянно обновляемым ассортиментом и относительно невысокой стоимостью [19, 21, 25].

### 1.1.1. Исследование особенностей процесса производства халвы

На рисунке 1.4. представлена распространенная на кондитерских предприятиях машинно-аппаратурная схема линии производства халвы.

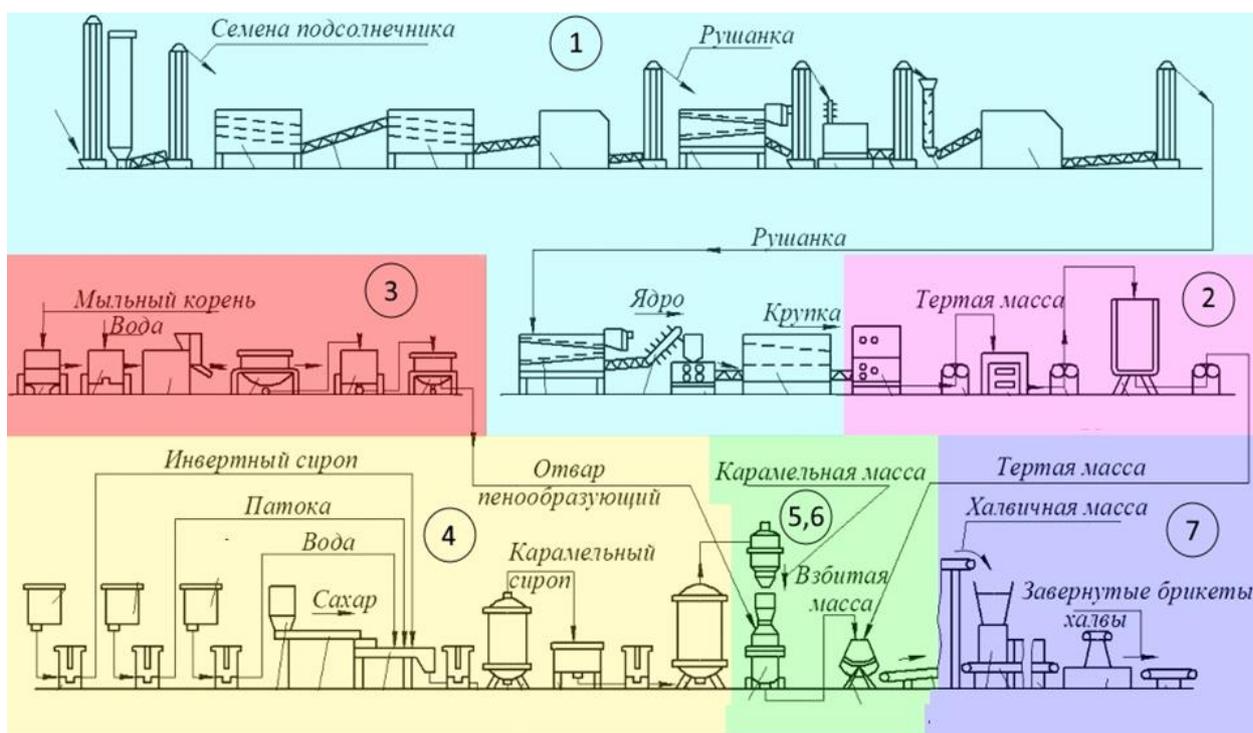


Рисунок 1.4. Машино – аппаратурная схема линии производства халвы

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 %. Для предотвращения ухудшения качества ядер, их охлаждают до 50 °С. Делается эта операция с помощью охлаждающегося барабана при подачи холодного воздуха.

Далее идет повторный процесс обрушения для того, чтобы полностью отделить лузгу подсолнечника от семян. Для этого полученную рушанку перемещают на вторую ситовеечную машину. 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. Чтобы избавиться от лузги в потоке, тертую массу дозируют с помощью шестеренного насоса в протирочную машину. В ней идет просеивание через сетку с размерами отверстий 0,8 мм. На выходе из протирочной машины в тертой массе количество лузги не должно превышать 1,4 % от общей массы [124]. Полученную тертую массу дозируют насосом в бункер, где она хранится при температуре 40-45°С при постоянном перемешивании для исключения ее расслоения.

Параллельно идет приготовление отвара мыльного корня. Для этого берется сухой мыльный корень и помещается в бункер с горячей водой, в котором идет его очистка от загрязнений. Этот процесс занимает от 12 до 24 часов. На выходе получают размягченные корневища, которые загружаются в варочный котел. Получившиеся на выходе варочного котла экстракты поступают

далее в промежуточный сборник. Далее идет процесс уваривания экстрактов. Фильтрация полученного отвара, происходит путем его дозирования через сетку с размерами отверстий 1 мм. После фильтрации отвар мыльного корня не должен быть темно-коричневого цвета. Поскольку получившийся отвар имеет ограниченный срок хранения и по истечении времени начинает плесневеть, его изготавливают по мере необходимости для производства.

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 карамельный сироп поступает на фильтрацию и затем подается в промежуточный сборник и затем – в змеевиковый вакуум- аппарат непрерывного действия, на выходе которого получаем карамельную массу.

Далее карамельную массу и отвар пенообразователя (экстракта мыльного корня). дозируют и полученную смесь взбивают 15-20 минут при температуре 105-115 °С.

Далее идет процесс вымешивания халвы. Осуществляется он в месильной машине, куда дозируется тертая и взбитая карамельная масса. Во время работы месильной машины, ее лопасти вращаются непрерывно до равномерного вытягивания карамельных нитей. Далее полученную массу выгружают на охлаждающую машину, формируют и затем готовую халву пускают на упаковку [54].

Халву упаковывают на фасовочной машине. Завернутые конфеты халвы конвейером направляются на упаковку в транспортную тару.

### ***1.1.2. Анализ основных стадий процесса производства халвы***

Основными стадиями технологического процесса производства подсолнечной халвы являются [54, 76]:

- Сепарирование семян подсолнечника и подготовка сырья к производству.

- Приготовление сахарного сиропа: дозирование сахара-песка и воды, растворение сахара, уваривание рецептурной смеси.
- Приготовление карамельного сиропа: дозирование сахарного сиропа, патоки, молока и других компонентов, смешивание и уваривание рецептурной смеси.
- Взбивание карамельной массы.
- Вымешивание халвы.
- Формование, фасовка и упаковка халвы.

На рисунке 1.5. представлены основные стадии технологического процесса производства халвы.

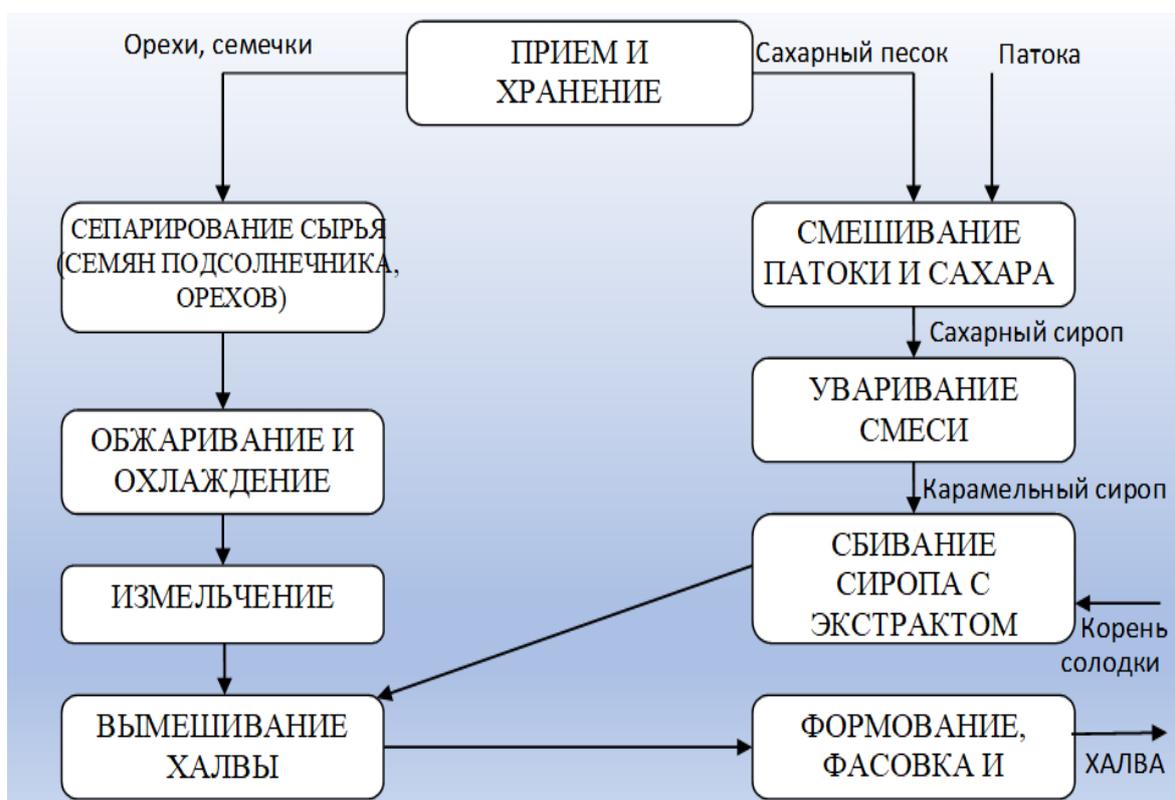


Рисунок 1.5. Основные стадии процесса производства халвы

На рисунке 1.6 показана структурная схема производства подсолнечной халвы.

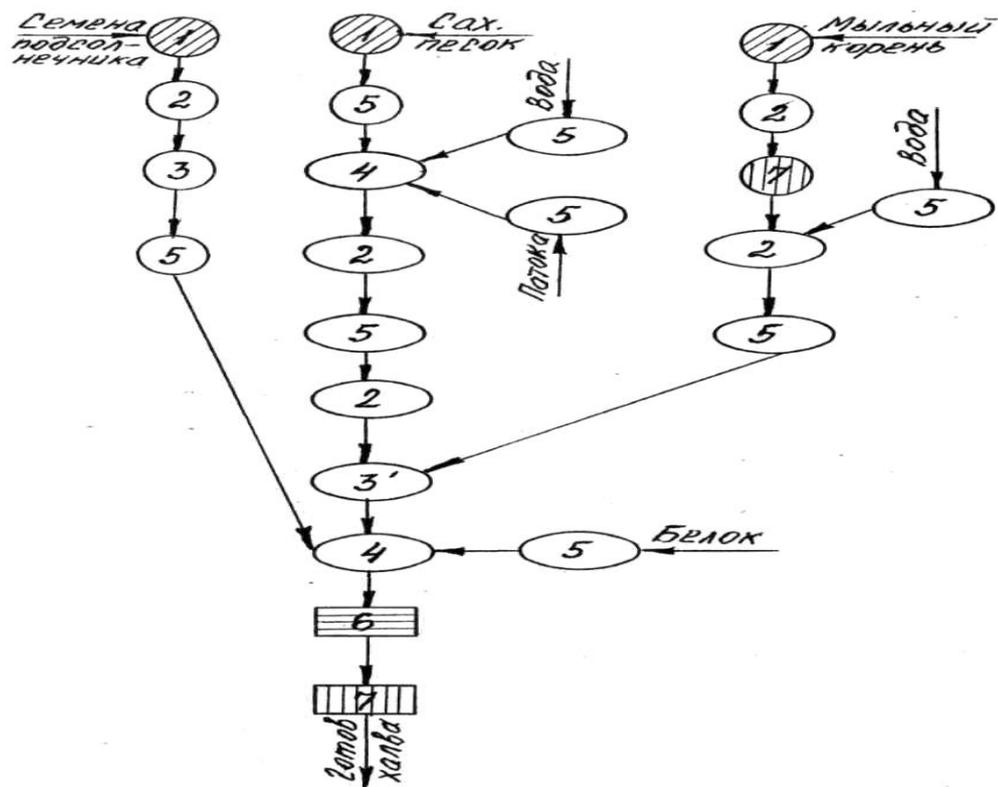


Рисунок 1.6. Структурная схема производства подсолнечной халвы.

1 – очистка, сепарирование и сортировка исходного сыпучего сырья;

2 – нагревание, обжарка, варка, сушка, уваривание; 3 – охлаждение;

4 - измельчение, дробление, размол; 5 - сбивание, вальцевание;

6 - смешивание, перемешивание, разводка; 7 - замачивание; дозирование;

прессование.

Производство халвы разделяется на три основных фазы: 1 - подготовка сырья к производству халвы, 2 – процесс непосредственного приготовления халвы и 3 – фасовка и упаковка готовой продукции. Следует отметить, что в формировании показателей качества готовой халвы, кроме свойств используемого сырья, большое значение имеют также и материальные потоки, которые не контактируют с технологическими материалами (сырьем), а лишь способствуют трансформации их свойств. Такими материалами являются: пар, сжатый воздух, техническая вода, хладагент, электроэнергия, режимы работы используемого оборудования и др.

### **1.1.3. Выбор основных факторов процесса производства халвы, определяющих эффективность всех операций**

Представленная на рисунке 1.6. структурная схема производства подсолнечной халвы, а также анализ входящих в это производство процессов позволили выбрать факторы, определяющие эффективность этого производства (таблица 1.1).

Таблица 1.1 - Основные факторы, определяющие эффективность основных операций процессов производства халвы

№ п/п	Типовые операции	Основные факторы, зависящие от:		Показатели материала после обработки
		работы технологического оборудования	свойств сырья, полуфабрикатов и готового продукта	
1	Очистка (филтрация) жидкого сырья (коллоидных растворов, суспензий, экстрактов)	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
2	Очистка (просеивание), сортировка и калибровка 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
3	Взвешивание и дозирование	Производительность, кинематические и конструктивные параметры оборудования/скорость, интенсивность, класс	Масса, структурно-механические свойства (влажность, вязкость, гранулометрический состав, консистенция,	+/ масса, гранулометрический состав

№ п/п	Типовые операции	Основные факторы, зависящие от:		Показатели материала после обработки
		работы технологического оборудования	свойств сырья, полуфабрикатов и готового продукта	
4	Размол, измельчение, дробление сырья, полуфабриката	Производительность, кинематические и конструктивные параметры оборудования/скорость, интенсивность, гранулометрический состав, характер воздействия на обрабатываемый продукт (дробление, истирание, удар, раскалывание), определяемый типом применяемого оборудования	Физические и структурно-механические свойства (влажность, вязкость, консистенция, плотность, прочностные свойства и т.д.), время воздействия, температура, насыпная масса	+/ Гранулометрический состав, массовая доля сухих веществ, массовая доля жира, температура, количество примесей
5	Тепловая обработка: разогревание, уваривание, взбивание, нагрев, охлаждение	Производительность, кинематические и конструктивные параметры оборудования/скорость, интенсивность, продолжительность обработки, температура обработки, % влажности, количество зон нагрева или охлаждения, характер относительного движения теплоносителя и продукта	Начальная и конечная температура, влажность, вязкость, гранулометрический состав, насыпная масса, плотность, прочность	+/ вязкость, масса, плотность, прочность
6	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

№ п/п	Типовые операции	Основные факторы, зависящие от:		Показатели материала после обработки
		работы технологического оборудования	свойств сырья, полуфабрикатов и готового продукта	
7	Формован ие	Производительность, рабочее давление, продолжительность цикла формования, кинематические и конструктивные параметры	Начальная влажность, начальная температура, дисперсность, начальные реологические свойства	+ / Влажность, температура, дисперсность, реологические свойства, состав, плотность

Наличие данной таблицы позволяет перейти к разработке функционально - структурных схем, структурно - параметрических и математических моделей основных этапов производства халвы.

#### ***1.1.4. Схема влияния параметров качества сырья на качество по фабрикатам и готовых конфет халвы в процессе производства***

Для решения комплекса задач автоматизации управления качеством производства подсолнечной халвы, был оценен механизм процесса приготовления этих изделий, всех промежуточных операций, формирующих качество получаемых конфет халвы и их взаимовлияние. Для такого анализа разработана функционально-структурная схема (ФСС) влияния исходного сырья и промежуточных операций на качество производимой халвы, подобно изложенная в нашей статье [16]. Данная схема отражает последовательность выполнения основных операций данного производства с указанием обобщенных показателей качества  $Y_i$  реализации соответствующих операций ТП и позволяет определить основные, необходимые параметры контроля качества исходного сырья и получаемые в ходе реализации этих процессов полуфабрикаты, влияющие на качество конечного продукта. Это позволяет в дальнейшем, выбрать наиболее значимые показатели качества и установить необходимые точки контроля и регулирования хода исследуемых процессов для автоматизации управления качеством производства подсолнечной халвы с учетом полученных результатов. При разработке этих схем были использованы полученные ранее ( в п. п. 1.1.1. - 1.1.3.) 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.

Функционально-структурная схема влияния показателей исходного сырья и промежуточных операций на качество готовой подсолнечной халвы на всех этапах процесса производства показана на рисунке 1.7.

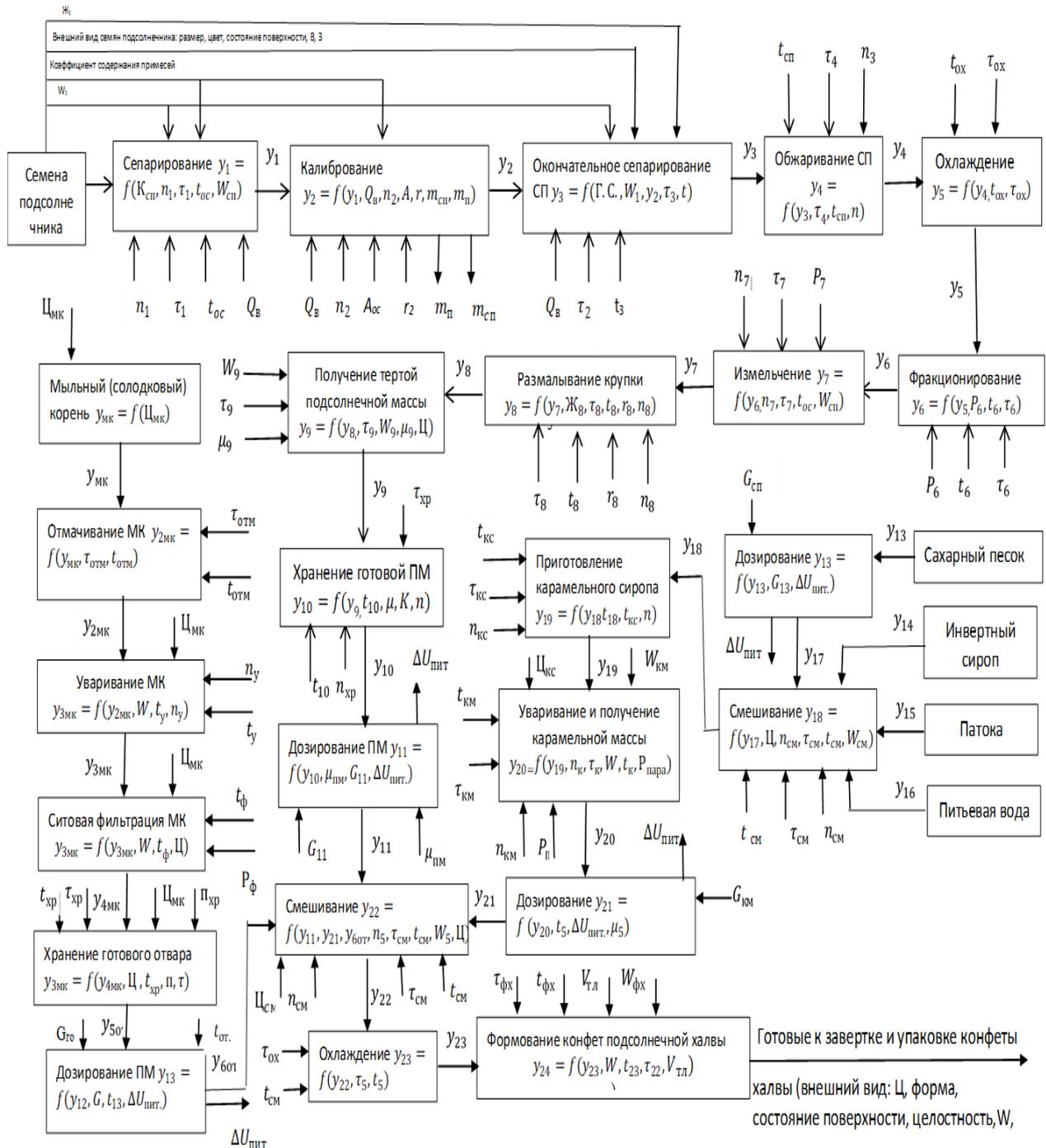


Рисунок 1.7. ФСС влияния показателей качества исходного сырья и

промежуточных операций на качество готового изделия на всех этапах процесса производства подсолнечной халвы

На всех этапах ТП подготовки сырья (семян подсолнечника, сахарного песка, патоки, мыльного корня, инвертного сиропа) к производству и получаемые в ходе этих ТП полуфабрикаты (откалиброванные семена подсолнечника, крупка семян подсолнечника, тертая подсолнечная масса, карамельный сироп, карамельная масса, отвар мыльного корня - пенообразователь), получаемые массы подвергаются интенсивной механической обработке, которая обеспечивает протекание сложных физико-химических процессов, с происходящими при этом значительными изменениями показателей качества перерабатываемых масс.

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 ( $Вн.в_{сп}$ ), включающий следующие показатели: размер ( $L_{сп}$ ), цвет ( $Ц_{сп}$ ), 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 ( $\phi_v$ ).

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 ( $\tau_c$ ), 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 ( $\tau_{oc}$ ), 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 ( $\zeta_{сп}$ ) 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  $\tau_6$ );

- *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 ( $\tau_7$ ) 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 ( $\tau_8$ ), 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 ( $\tau_9$ ), 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 ( $\tau_{10}$ ) 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 ( $\Pi_{ис}$ ); а также патока, основными показателями качества которой  $Y_{15}$  является вязкость ( $\mu_{п}$ ) и цвет ( $\Pi_{п}$ ). 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 ( $\Pi_{сс}$ ), 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  $\Pi_{кс}$ , вязкость  $\mu_{кс}$  и влажность  $W_{кс}$ ), а также от режимных параметров процесса уваривания (время уваривания  $\tau_{у}$ , температура уваривания  $t_{у}$  и давления греющего пара внутри змеевика варочного аппарата  $P_{у}$ ). Качество полученной карамельной массы  $Y_{20}$  оценивается по следующим показателям: цвет ( $\Pi_{км}$ ), 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 ( $\Delta U_{пит.}$ ).

Далее получаемая карамельная масса через дозатор поступает в смеситель, в который также подается тертая масса семян подсолнечника и готовый отвар мыльного корня (пенообразователя), являющийся важным сырьем этого производства.

ТП производства подсолнечной халвы, кроме отмеченных выше процессов, включает в себя также следующие основные операции подготовки отвара мыльного корня, показанные на рисунке 1.7.:

- *отмачивание* мыльного корня. Эффективность данного процесса и получение сырья с оптимальными показателями качества  $Y_{2МК}$  зависят от температуры отмачивания ( $t_{отм}$ ) и времени проведения процесса ( $\tau_{отм}$ );

- *отваривание и получение экстракта мыльного корня*. Эффективность проведения данного процесса и получение экстракта мыльного корня с оптимальными показателями качества  $Y_{3МК}$  зависят от температуры отваривания ( $t_{отв}$ ), времени проведения процесса ( $\tau_{отв}$ ) и числа оборотов мешалки ( $n_{хр}$ ). Основными показателями качества экстракта являются цвет ( $C_{эмк}$ ), влажность ( $W_{эмк.}$ ) и вязкость ( $\mu_{эмк}$ );

- *ситовая фильтрация* полученного экстракта. В результате проведения данного процесса получаем отвар мыльного корня (пенообразователя), необходимого для производства подсолнечной халвы. Основными показателями качества пенообразователя  $Y_{4МК}$  являются цвет готового отвара мыльного корня ( $C_{МК}$ ) и влажность ( $W_{МК}$ ). Эффективность процесса фильтрации зависит от температуры отвара мыльного корня ( $t_{МК}$ ), время фильтрации  $\tau_{ф}$ , количества поступающего полуфабриката  $G_{МК}$ , а также от показателей качества уваренного мыльного корня  $Y_{3МК}$ ;

- *хранение готового отвара мыльного корня*. Эффективность процесса и получение полуфабриката с оптимальными показателями качества  $Y_{5МК}$  зависит

от эффективности проведения предыдущей операции  $Y_{4МК}$ , а также от температуры хранения ( $t_{10}$ ), времени хранения ( $\tau_{10}$ ) и числа оборотов мешалки ( $n_{ХМК}$ );

- *дозирование готового отвара мыльного корня*. Эффективность процесса дозирования готового отвара мыльного корня  $Y_{ДОМК}$  зависит от таких показателей, как влажность отвара ( $W_{ОМК}$ ), его температуры ( $t_{ОМК}$ ), а также от количества поступающей массы ( $G_{ОМК}$ ) и точности дозирования ( $\Delta U_{ПИТ.}$ ).

- *смешивание* готовой тертой подсолнечной массы, отвара мыльного корня и карамельной массы. Эффективность данного процесса  $Y_{22}$  зависит от качества ( $Y_{СМ}$ ,  $Y_{11}$ ,  $Y_{21}$ ) и количества поступающих масс, ( $G_{ОМК}$ ,  $G_{ПМ}$ ,  $G_{КМ}$ ), точности дозирования  $\Delta U_{ПИТ}$  основных компонентов, поступающих на смешивание; от показателей качества компонентов, которые были перечислены выше, а также от режимных параметров процесса смешивания: продолжительности смешивания ( $\tau_{СМ}$ ), температуры ( $t_{СМ}$ ) и числа оборотов мешалки ( $n_{СМ}$ ), находящейся внутри смесителя. Качество полученной массы халвы  $Y_{22}$  оценивается по следующим показателям: цвет ( $C_{МХ}$ ), вкус ( $B_{МХ}$ ), влажность ( $W_{МХ}$ ) и вязкость ( $\mu_{МХ}$ );

- *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 ( $W_{Х}$ ) и внешним видом готовой конфетной массы (Вн.в) (включающим: цвет, форму, состояние поверхности халвы и целостность). Проведение формования зависит от режимных параметров этого процесса: скорости выхода массы из матричного отверстия ( $V_{МХ}$ ), температуры массы халвы, поступающей на формование ( $t_{МХ}$ ) и скорости транспортной ленты ( $V_{ТЛ}$ ).

### ***1.1.5. Определение необходимых точек контроля и регулирования в структурной схеме процесса производства халвы***

Рисунок 1.8, иллюстрирует влияние большого количества различных факторов на состояние перерабатываемого сырья и полуфабрикатов. Среди показанных на схеме параметров имеются тесно связанные между собой и те, которые перекрывают друг друга. Также имеются параметры, не оказывающие определяющего влияния на эффективность тех или иных ТП производства подсолнечной халвы. Для автоматизации управления качеством производства подсолнечной халвы (ПХ), оптимизации режимов работы технологического оборудования этой линии необходима полная, всесторонняя, достоверная, своевременная и в то же время не избыточная информация об основных параметрах, оказывающих наибольшее влияние на качество приготавливаемых конфет халвы. Таким образом, важнейшей задачей является оценка информативности параметров и выбор контролируемых и управляемых. Для решения этой задачи использовались методы структурно-параметрического анализа и моделирования систем [43, 58, 59]. Были выявлены наиболее информативные характеристики ТП производства подсолнечной халвы. На рисунке 1.8 представлена полученная ФСС исследуемого процесса производства подсолнечной 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 (цвет, внешний вид, влажность, жирность, коэффициент извлечения примесей и др.), а также параметры, определяемые автоматически (температура, давление, уровень, вязкость и др.) оказывают влияние на качество готовой подсолнечной халвы. Их можно отнести к группе основных информационных параметров.

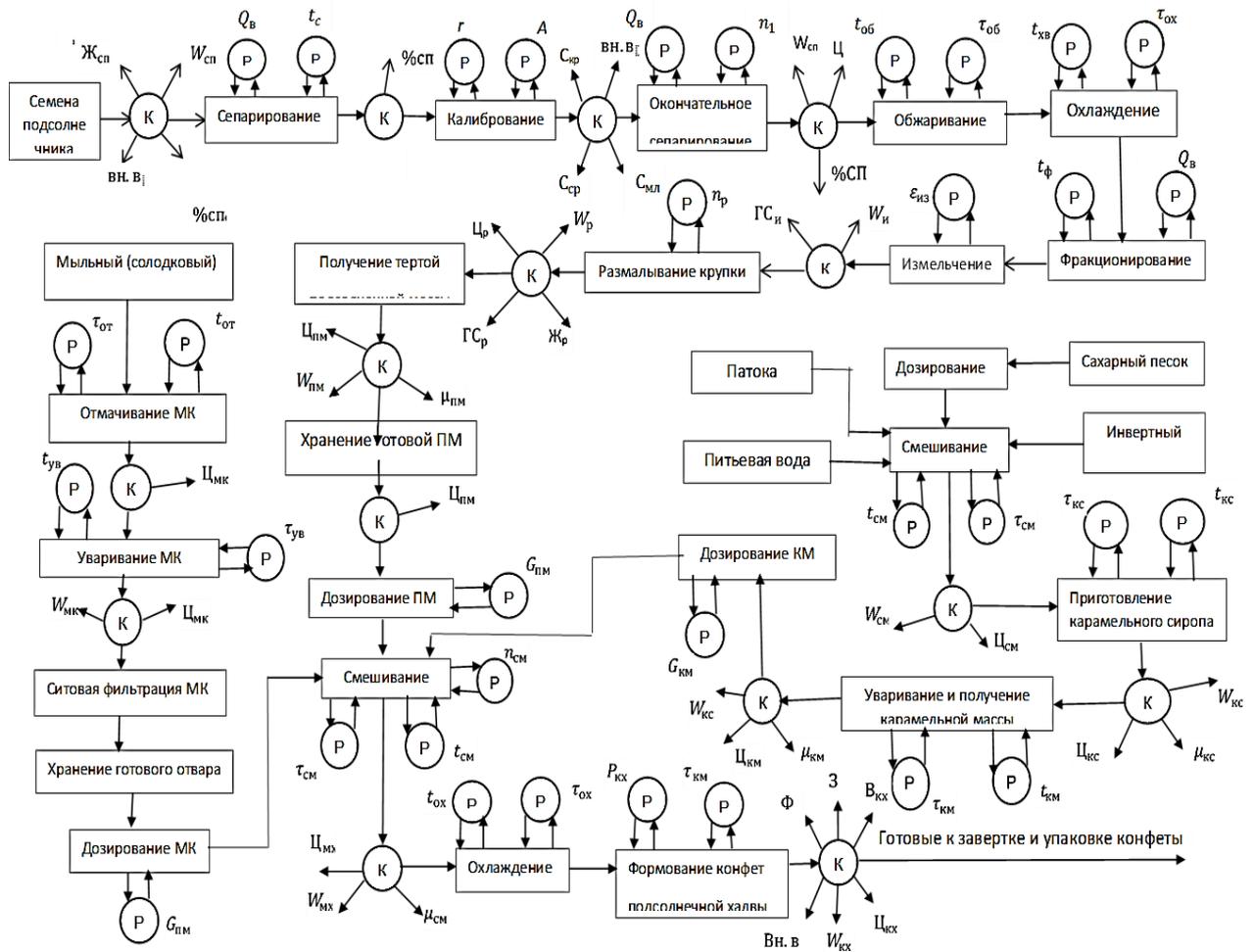


Рисунок 1.8. ФСС формирования качества подсолнечной халвы с указанием информативных параметров контроля и регулирования

## 1.2. Исследование существующих способов определения качества халвы

### 1.2.1. Основные задачи систем автоматизированного контроля и управления качеством халвы

Эффективное управление процессами производства халвы вызывает необходимость автоматизации контроля и управления всеми важнейшими для производства халвы показателями качества, в том числе и органолептическими [20].

Основными задачами контроля качества халвы в процессе производства являются:

- контроль соответствия качества готовой халвы требованиям ГОСТ [47 – 49] и технологическому регламенту (основные контролируемые показатели качества халвы представлены в п. 1.1);

- накопление статистических данных о фактическом уровне качества готовой халвы и разработка на этой основе нейросетевой модели (НСМ) автоматического контроля качества халвы в потоке.

Служба контроля качества кондитерского предприятия располагает необходимыми лабораторными помещениями и оборудованием, включающим лабораторные приборы и средства контроля. Существующие на кондитерских предприятиях спецификации и методики испытаний соответствуют требованиям, установленными соответствующими ГОСТами [47 – 49]. Все операции контроля в лабораториях кондитерских предприятий проводятся в соответствии с утвержденными методиками (инструкциями) и оформляются в письменном виде непосредственно после их проведения. Выходной контроль готовой халвы подразумевает контроль показателей качества готовых кондитерских изделий [49].

### ***1.2.2. Наиболее важные органолептические показатели качества, контролируемые на каждой стадии производства халвы***

Наиболее сложными для автоматизации управления качеством производства подсолнечной халвы являются органолептические показатели качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции. Поэтому были проанализированы контролируемые в настоящее время на каждой стадии производства халвы органолептические показатели.

А. Показатели качества семян подсолнечника при их подготовке к производству халвы

Обзор и анализ работ в области кондитерского производства [1, 4 – 6, 15, 16, 18 – 26, 29, 52, 54, 56, 57], а также существующие ГОСТы [47 - 49] показали,

что широко используемые в производстве халвы семена подсолнечника характеризуется следующими органолептическими показателями качества:

- внешний вид: размер, цвет, состояние поверхности, целостность;
- коэффициент извлечения примеси;
- вкус и запах;
- влажность;
- содержание жира.

В процессе подготовки семян подсолнечника к производству халвы при проведении всех описанных в п.1.1.1. операций на кондитерских фабриках определяются следующие органолептические показатели качества:

1. % извлечения примесей при очистке и сепарировании сырья в воздушно-ситовом сепараторе,  $G_{пр.}\%$ .
2. Внешний вид семян подсолнечника после калибрования сырья в сепараторе: размер  $L$ , мм; цвет  $\Pi_{сп.}$ , состояние поверхности  $СП_{сп.}$ , целостность  $Цел_{сп.}$ .
3. % отделения лузги от ядра в семеновеечной машине, (количество примесей – лузги, не должно превышать 1,4% от общей массы),  $G_{л.}\%$ .
4. Влажность семян подсолнечника после обжаривания,  $W_{с.п.}\%$ .
5. Визуальный контроль однородности тертой массы семян подсолнечника, хранящейся в бункере (для исключения её расслоения).

Б. Показатели качества экстракта мыльного корня (пенообразователя) при его подготовке к производству халвы

1. Цвет мыльного корня после очистки от загрязнений,  $\Pi_{мк.}$
2. Цвет экстракта мыльного корня после фильтрации (полученный отвар мыльного корня не должен быть темно-коричневого цвета),  $\Pi_{эмк.}$
3. Контроль свежести экстракта мыльного корня при хранении в промежуточном сборнике путем определения наличия плесени на его поверхности, выявление нарушения сроков его хранения и подача сигнала о возможности его использования в производстве халвы,  $\Pi_{эмк.}$ .

В. Показатели качества сахарного и карамельного сиропа при его подготовке к производству халвы

1. Гранулометрический состав сахарного песка, Г.С.
2. Влажность сахарного сиропа,  $W_{с.с.}$ , %
3. Влажность карамельного сиропа,  $W_{к.с.}$ , %
4. Цвет карамельного сиропа,  $C_{к.с.}$

Г. Показатели качества карамельной массы при ее подготовке к производству халвы

1. *Влажность* карамельной массы,  $W_{к.м.}$ , %
2. *Цвет* карамельной массы,  $C_{к.м.}$

Д. Показатели качества готовой халвы

В соответствии с ГОСТ 6502-2014 «Халва. Общие технические условия» по органолептическим показателям готовый продукт должен соответствовать требованиям, указанным в таблице 1.2.

Таблица 1.2 - Общие технические условия

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	Легко режущаяся, слегка крошащаяся
Структура	Волокнисто-слоистая или тонковолокнистая. Для арахисовой и ореховой халвы неярко выраженная волокнисто-слоистая структура. Для халвы, обработанной в вакууме, пористая

Поверхность	Не липкая. Для глазированной халвы ровная или волнистая, без поседения и повреждений
Посторонние примеси	Не допускаются. В подсолнечной халве допускается незначительное количество видимых точечных включений лузги

### ***1.2.3. Анализ существующих методов контроля органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий в процессе производства подсолнечной халвы***

В настоящее время органолептический контроль сырья, полуфабрикатов и готовой продукции проводится в лабораториях кондитерских предприятий на основании стандартов на методы контроля, действующих инструкций, утвержденных в установленном порядке, и в соответствии с требованиями ГОСТ или ТУ [47 - 49].

На кондитерских предприятиях при производстве халвы все отмеченные выше органолептические показатели качества семян подсолнечника определяют в лабораториях этих предприятий [75].

Основными методами определения качества сырья (орехов и семян подсолнечника) являются:

1. Отбор проб – по ГОСТ 10852-86.
2. Определение размера семян, 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 (цвет, запах, вкус, размеры и хруст) осуществляют согласно Межгосударственному стандарту «ГОСТ 22391-2015 «Семена. Технические условия». Заготавливаемые и поставляемые семена подсолнечника и 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».

Цвет семян определяют визуально при рассеянном дневном свете или при достаточно ярком искусственном освещении. В соответствии с существующей классификацией органолептических показателей [75, 85] 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 лабораторными методами с помощью экспертов.

Запах определяют в целых или размолотых семенах. Свежие семена обладают слабым, свойственным им запахом [75, 85, 89].

Результаты анализов органолептических показателей семян подсолнечника записывают в лабораторных книгах или документах «Определение размера, запаха и вкуса семян подсолнечника» и оформляют в следующем виде (таблица 1.3.)

Таблица 1.3 – Органолептических показателей семян

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

Также, как отмечалось ранее, контролируемыми показателями качества семян подсолнечника являются внешний вид, влажность, содержание жира и засоренность [49, 75, 85].

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, полуфабрикатов и готовых изделий в процессе производства халвы в настоящее время используют только лабораторные методы.

#### *Недостатки органолептического контроля*

Органолептический контроль является важным этапом при определении показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой халвы на кондитерских предприятиях. Он требует 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 [63, 75]. Недостатками органолептического метода являются его субъективность и невозможность быстрой оценки качественных показателей сырья, полуфабрикатов и готовой продукции [75].

По регламенту, установленному на большинстве кондитерских предприятий, органолептический контроль проводится один раз в смену, что может привести к пропуску бракованных изделий.

Длительность отбора и анализа образцов не позволяют использовать существующие лабораторные методы для автоматизации управления качеством производства халвы.

Таким образом, актуальна необходимость повышения объективности контроля качества за счет внедрения высокоэффективных интеллектуальных технологий и создания на их базе интеллектуальной системы контроля и управления качеством производства халвы. Применение такой системы исключит влияние человеческого фактора на объективность анализа, сократит производственный цикл выпуска халвы, исключив 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 [1, 5, 6, 11, 19 – 23, 25 - 27].

Для решения задач автоматизации управления качеством производства халвы и исключения брака готовой продукции, был проведен обзор и анализ существующих различных инструментальных методов и средств контроля органолептических показателей качества сырья и пищевых масс в различных отраслях промышленности.

#### ***1.2.4. Оценка новых инструментальных систем контроля органолептических показателей качества продукции***

Представленные в работе исследования показали, что наиболее информативными органолептическими показателями качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции, которые необходимо контролировать в режиме онлайн в процессе производства халвы являются: внешний вид, а также вкус, влажность и коэффициент извлечения примесей.

*Внешний вид семян подсолнечника (размер, цвет, состояние поверхности и целостность семян подсолнечника)*

*Размер дисперсных масс*

При производстве халвы одним из важнейших показателей качества сырья является размер семян подсолнечника (*крупность семян*) [49]. *Крупность сырья* является его важнейшей характеристикой. Чем крупнее зерно, тем выше потенциальный выход готовой продукции. С увеличением ширины и толщины семян подсолнечника возрастает его сферичность; увеличивается внешняя поверхность. Крупность определяется его линейными размерами: крупные, хорошо налившиеся семена дают больший выход продуктов. Выравненное крупное зерно или зерно средней крупности легче перерабатывать. В зависимости от размера сырья подбираются различные оптимальные режимы работы используемого в производстве оборудования. При этом получается более высокий выход и лучшее качество готовой продукции.

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 семян подсолнечника и необходимость использования для этих целей высокоэффективных интеллектуальных технологий.

### Цвет сырья, полуфабрикатов и готовой пищевой продукции

Цвет является важным показателем 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 подсолнечника 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 [63] показана возможность создания недорогого и мобильного малогабаритного прибора для оперативного контроля качества 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 спектрозональной 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, [6, 9, 63, 85, 88, 105, 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 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» на основе методов автоматического контроля в потоке цвета пищевых продуктов с использованием систем компьютерного зрения (помадные конфеты, творог, гранулированные комбикорма) [6, 27, 30, 31, 57, 70, 82, 88, 90 ]. Показана эффективность и перспективность их использования на предприятиях кондитерской, муковольной, молочной и пивобезалкогольной промышленности.

### Вкус

При формулировании задачи автоматизации контроля показателей вкуса сырья, полуфабрикатов и готовой продукции – халвы, проведен обзор и анализ методов, используемых при решении 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. Основными ограничениями в действии предложенных моделей являются низкая селективность и сложность аппаратного решения. Из множества решений, описанных в различных источниках [4, 6, 75, 82, 84, 85, 91], 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 [4,26, 75].

Регистрация этих данных и их обработка позволили сформулировать большинство технических условий, включающих диапазон указанных физических характеристик. Качество вкусо- ароматических веществ должно быть непосредственно связано с видом их применения. Решение об их пригодности должно, в конечном счете, основываться на органолептической оценке.

В последнее время наблюдается значительное расширение использования методов оценки качества многих вкусо- ароматических веществ на основе газо-жидкостной хроматографии [75]. Для такого контроля наиболее подходящими оказались эфирные масла, эти методы эффективно применяются в производстве смесей вкусо- ароматических веществ, и для выявления фальсификаций синтетических ароматизирующих веществ [6]. Эффективным инструментом

исследователей и специалистов по контролю качества 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 определенных условиях. Окончательное суждение о любом вкусо- ароматическом веществе в настоящее время базируется на данных эксперта-дегустатора или дегустационной комиссии.

#### *Использование пьезорезонансных сенсоров.*

Приборы на базе пьезорезонансных сенсоров используются для определения ароматобразующих веществ в некоторых пищевых продуктах, таких как кофе, коньяк, хлебобулочные изделия и др.

В основе работы пьезоэлектрического резонатора лежит пьезоэффект, обеспечивающий преобразование входного электрического напряжения, подводимого к электродам, в механическое напряжение в теле вибратора (обратный пьезоэффект), и ответную реакцию по выходу в виде зарядов на электродах, возникающих в результате деформаций вибратора под действием механических напряжений (прямой пьезоэффект). В течение измерительного интервала времени отклик сенсорной матрицы анализируется и передается на процессорный модуль. Для перехода к следующему измерительному циклу через систему пропускают промывочный агент (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 не применим.

#### *Электронный язык.*

В лаборатории химических сенсоров Санкт-Петербургского государственного университета был разработан прибор для оценки вкуса, получивший название «электронный язык» [5, 75].

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 халвы.

Разработкой методов автоматического контроля вкуса пищевых продуктов в потоке с использованием нейросетевых технологий занимались ученые кафедры «Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами» ФГБОУ ВПО «Московского государственного университета пищевых производств» (шоколад, помадные конфеты). 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 [6, 14, 15, 101, 102].

### Влажность

Влажность является важнейшим показателем качества пищевых продуктов. В настоящее время существуют поточные влагомеры, рассчитанные, в основном, на анализ сыпучих материалов, таких как сахар, мука и др. с низким содержанием влаги.

В процессе изучения литературы по данной тематике [4, 6, 12 - 14, 52, 75 и др.] были рассмотрены микроволновые влагомеры резонаторного типа, СВЧ-влагомеры, емкостные влагомеры, электрокондуктометрические влагомеры, ультразвуковые влагомеры, инфракрасные влагомеры, диэлектрические влагомеры и др. Однако все они не могут быть использованы для автоматического контроля влажности сырья, полуфабрикатов и готовых конфет халвы в потоке.

Для поточного измерения влажности, например семян подсолнечника, возможно использовать инфракрасный термогравиметрический метод. Однако несмотря на все преимущества данного средства, данный метод может быть использован только при анализе влажности сыпучих пищевых масс в лабораториях пищевых предприятий, что также не отвечает задачам поставленным в данной работе.

Наиболее перспективными для использования в кондитерской промышленности являются измерительные приборы компании Testo для пищевого сектора, предназначенные для прямого контакта с продукцией (рисунок 1.9).



Рисунок 1.9. Измерительные приборы Testo

Testo Saveris обеспечивает непрерывный автоматический мониторинг параметров температуры и влажности в процессе производства, и если граничные значения превышены, инициируется серия сигнальных оповещений,

реализуемых через отсылку SMS/e-mail или световую и звуковую сигнализацию средствами базы системы.

Вызывают интерес для контроля влажности сырья, полуфабрикатов и готовой халвы в потоке также следующие автоматические влагомеры:

1. *Универсальный высокоточный влагомер ВАД-40М.* Применяется для анализа влажности зерна, муки, пищевых концентратов.
2. *Влагомер для сыпучих пищевых продуктов ИВДМ-2М.*
3. *Поточный СВЧ-влагомер «МИКРОРАДАР-113».*
4. *Измеритель влажности зерна цифровой (Финляндия) HE lite.*
5. *СВЧ влагомер MW 3260.*
6. *PM-600 влагомер зерна (Япония).*
7. *Эвлас-5 определение влажности и температуры зерна в потоке диэлькометрическим методом.*
8. *Delmhorst G-7 электронные влагомеры зерна с микропроцессорным управлением измерениями ООО "МетерМаркет" (г. Москва, Россия).*

Проведенные исследования показали наличие автоматических приборов для измерения влажности и жирности пищевых масс в потоке. Информация, поступающая от данных прибором, может быть задействована в интеллектуальной автоматизированной системе управления качеством халвы в режиме реального времени.

#### ***1.2.5. Выбор наиболее важных органолептических показателей качества, подлежащих автоматическому контролю онлайн при производстве халвы***

Проведенные исследования позволили выявить наиболее важные органолептические показатели качества, которые необходимо автоматически контролировать на каждой стадии производства подсолнечной халвы. Это:

- коэффициент извлечения из сырья примесей;

- внешний вид сырья (цвет сырья, полуфабрикатов и готовой не глазированной халвы; форма семян подсолнечника, халвы; состояние поверхности; целостность);

- влажность.

Представленные данные и их анализ позволяют сделать вывод о необходимости разработки методов и средств автоматического контроля в потоке следующих органолептических показателей:

- коэффициент извлечения из сырья примесей;

- внешний вид (цвет сырья, полуфабрикатов и готовой не глазированной халвы; форма семян подсолнечника, халвы; состояние поверхности; целостность).

### **1.3. Современное состояние методов и систем управления качеством продукции на промышленных предприятиях**

#### ***1.3.1. 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) [6, 75, 79]. В некоторых работах [85] 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». Это определение потребовало корректировки. В соответствии с международным стандартом ИСО 8402-94 [75]: «Качество - это совокупность характеристик объекта, относящихся к его способности удовлетворять установленные и предполагаемые потребности». В ГОСТе 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» [75, 85, 91].

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 [91].

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 [92] всеобщее управление качеством – «это не теоретическая дисциплина, а технология руководства процессом повышения 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. Динамические изменения качества вытекают из динамических изменений свойств объекта. Динамическим процессом изменения качества можно управлять.

### ***1.3.2. Существующие системы управления качеством***

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 [92].

#### ***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 [75]- 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 [92].

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 [95]. Основными методами исследований ТАС является математическое и имитационное моделирование [75, 92, 104 и др. ].

Система управления качеством продукции промышленных предприятий получила развитие в тесной взаимосвязи с ТАС [104]. Успешное решение задачи оптимизации качества продукции зависит в большой степени от адекватности моделей реальным технологическим процессам, удачного выбора критерия качества и от рациональной модели организации информационного обеспечения, хранения и обработки производственных данных.

*Система управления качеством с использованием пакетов прикладных программ*

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 [104].

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

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

#### **1.4. Существующие на кондитерских предприятиях системы управления качеством пищевой продукции**

Наиболее важным средством повышения качества выпускаемой продукции, снижения ресурсо- и энергозатрат, контроля расхода сырья на сегодняшний день является использование систем автоматизированного управления технологическими процессами (АСУ ТП) [1, 6, 11, 16]. Основными функциями АСУ ТП, направленными на достижение частных целей управления, являются [35]:

- Управляющие функции. Результатами их выполнения будет выработка и реализация управляющих воздействий на управляемую систему.
- Информационные функции. Содержанием информационных функций является сбор, обработка и представление информации о состоянии системы оперативному персоналу или передача этой информации для последующей обработки.
- Вспомогательные функции обеспечивают решение внутрисистемных задач.

АСУ ТП на кондитерских предприятиях объединяют различные объекты и устройства, локальные и удаленные, в единый комплекс и позволяют контролировать и программировать их работу как в целом, так и по отдельности. Этим обеспечивается максимальная эффективность и безопасность производства, возможность оперативной наладки и переналадки, строгий учет и планирование деятельности, оптимизация бизнес-процессов предприятия [6]. На современных кондитерских предприятиях контроль за ходом отдельных линий производства конфет осуществляется АСУТП с использованием микропроцессорных средств. На рисунке 1.10 представлено место НМИ (Human-Machine Interface: человеко-машинный интерфейс) – в структуре систем управления процессами производства на ОАО «Объединенные кондитеры».

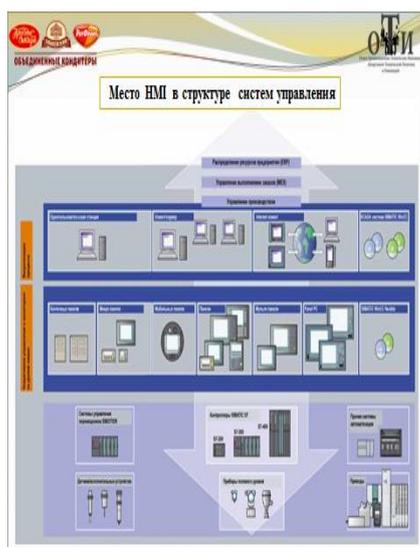


Рисунок 1.10 Использование в АСУТП микропроцессорных средств

Анализ работающей на кондитерских предприятиях АСУТП показывает, что линия производства подсолнечной халвы может располагаться как в одном помещении, так и распределяться по нескольким помещениям.

На рисунке 1.11 представлена часть линии производства халвы, которая показывает, что современная концепция ведения ТП требует применения широкого спектра датчиков и исполнительных механизмов для выпуска продукции надлежащего качества.

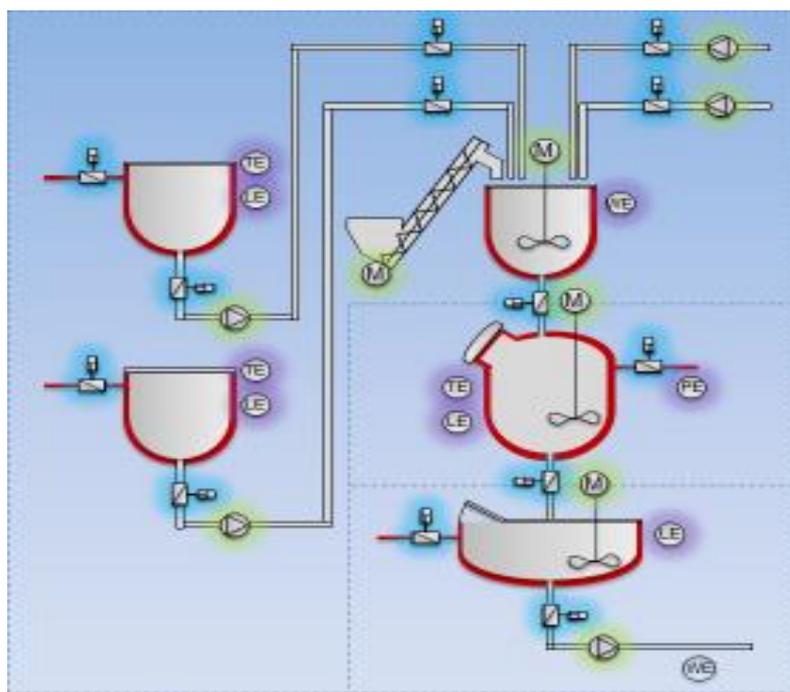


Рисунок 1.11 Участок линии производства халвы

Управление процессом, в котором задействовано такое количество разнообразных средств автоматизации требует наличия современного логического контроллера, способного не только управлять процессом, но и отслеживать, а также предупреждать различные аварийные ситуации. На рисунке 1.12 представлена система управления линией производства кондитерской продукции на базе промышленного логического контроллера, которая позволяет осуществить сбор информации с датчиков и сформировать управляющие сигналы на исполнительные механизмы в соответствии с заложенным алгоритмом. Оператор осуществляет управление оборудованием посредством НМІ.



Рисунок 1.12 АСУТП на базе промышленного логического контроллера

Анализ существующей схемы автоматизации поточной линии производства подсолнечной халвы показал, что несмотря на значительный прогресс в использовании на кондитерских предприятиях современных аппаратных и программных средств НМІ, на сегодняшний день автоматизация процесса производства халвы на большинстве кондитерских предприятий не соответствует современным технологиям (контроль показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых конфет осуществляется органолептическими методами, вручную в лабораторных условиях). Кроме того, следует учитывать существующие в кондитерском производстве проблемы. Это: постоянно меняющийся спрос потребителей на различные сорта халвы, появление новых кондитерских изделий, новых технологий и прогрессивного оборудования. Для выполнения этих требований необходима гибкая, способная быстро перестраиваться схема управления производством, способствующая использованию интеллектуальных технологий. Следовательно, существующая ситуация не позволяет отечественным кондитерским предприятиям составить серьезную конкуренцию западным компаниям и создаёт предпосылки для дальнейшего исследования, развития и внесения новых решений для максимально эффективной автоматизации исследуемого ТП, что повлечёт за

собой исключение возможных ошибок, минимизацию расходов и трудозатрат, а также повышение качества производимой продукции.

В связи с этим актуальной задачей является модернизация системы управления технологической линией производства халвы за счет создания интеллектуальных автоматизированных систем управления качеством производства этих конфет с использованием высокоэффективных нейросетевых технологий, систем компьютерного зрения, мультиагентных и др. интеллектуальных технологий. 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 на их базе создания интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы.

## **1.5. Системный анализ и формулирование проблемы**

### ***1.5.1. Разработка структуры целей***

Всю совокупность целей 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 качеством халвы.

### ***Подцели:***

1. *Увеличение объема выпускаемой продукции с заданным качеством* – эта подцель является важной, так как позволит снабдить потребителей халвой 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 халвы.

1.2.2. Повышение производительности линии производства халвы 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 показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых кондитерских изделий.

1.3. Закупка качественного сырья. Для этого необходимо:

1.3.1. 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 и технологий, 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 халвы.

2.2.3. Разработка алгоритмов и программного обеспечения задач интеллектуального управления качеством халвы 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 халвы;

- проработать перспективы интеллектуализации системы управления качеством производства халвы, изучив характеристику различных методов и технологий искусственного интеллекта и подобрав наиболее интересный вариант их использования в решении задач интеллектуализации управления процессом производства халвы.

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 халвы в процессе производства,

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

4.2. Внедрение интеллектуальных технологий в АСУ ТП производства халвы. Для этого необходимо обеспечить:

4.2.1. Разработку и внедрение нейросетевых технологий для создания виртуальных датчиков контроля в потоке показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции.

4.2.2. Разработку и внедрение систем компьютерного зрения.

4.2.3. Разработку и внедрение генетических алгоритмов.

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. Подбор квалифицированного персонала для обучения.

5.1.5. Проверку необходимых знаний, в том числе с применением разработанных специализированных программных продуктов.

Для понимания целей создания интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы в процессе ее производства было разработано дерево целей, представленное на рисунке 1.13.

### ***1.5.2. Создание системной диаграммы решения проблемы***

Для построения системной диаграммы 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 уравнивающими или усиливающими. Суммирующие связи отмечаются знаком «+», уравнивающие (вычитающие) связи отмечаются знаком «-».

На рисунке 1.14 представлена разработанная системная диаграмма решения проблемы создания интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы.

Повышение рентабельности производства

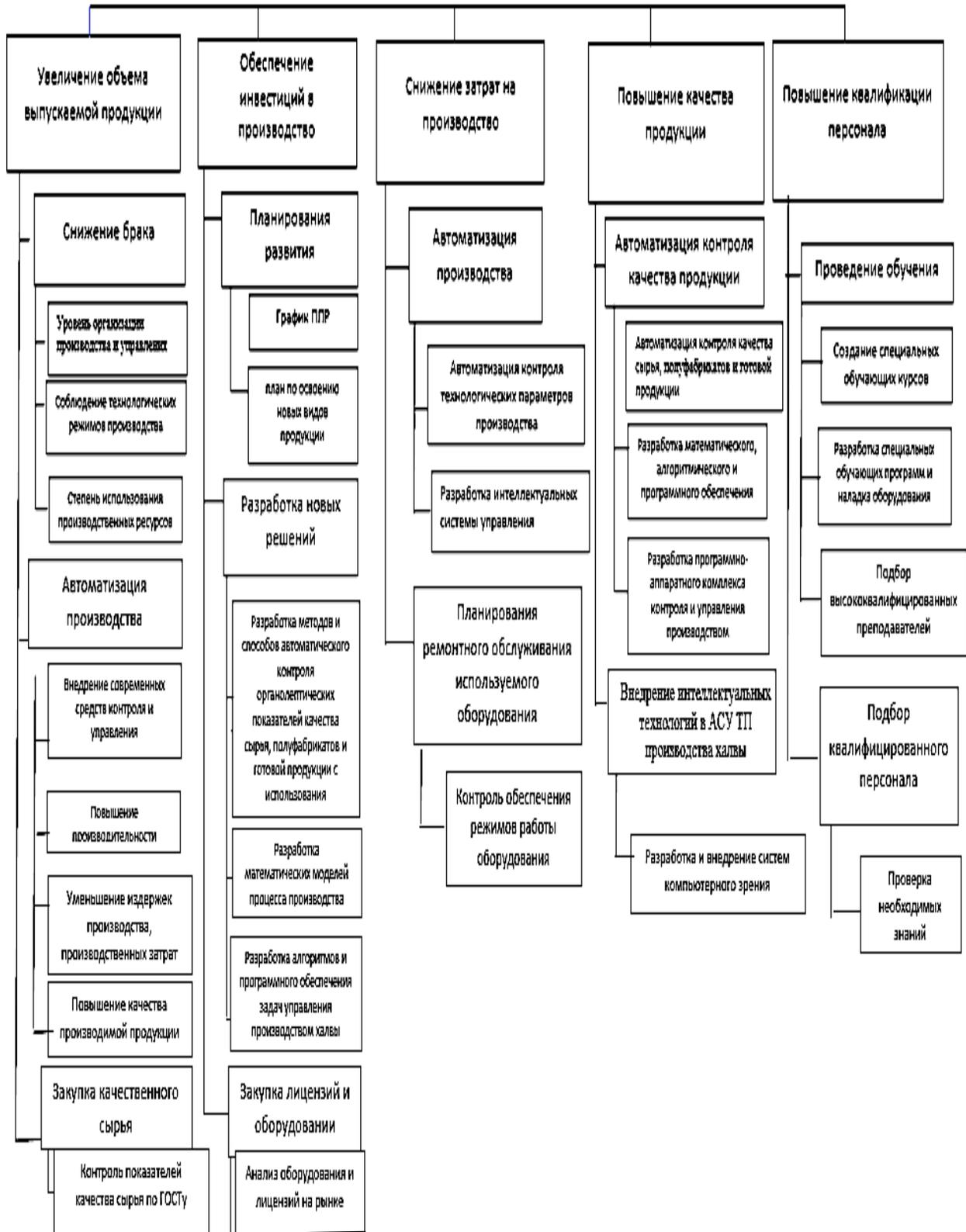


Рисунок 1.13. Дерево целей

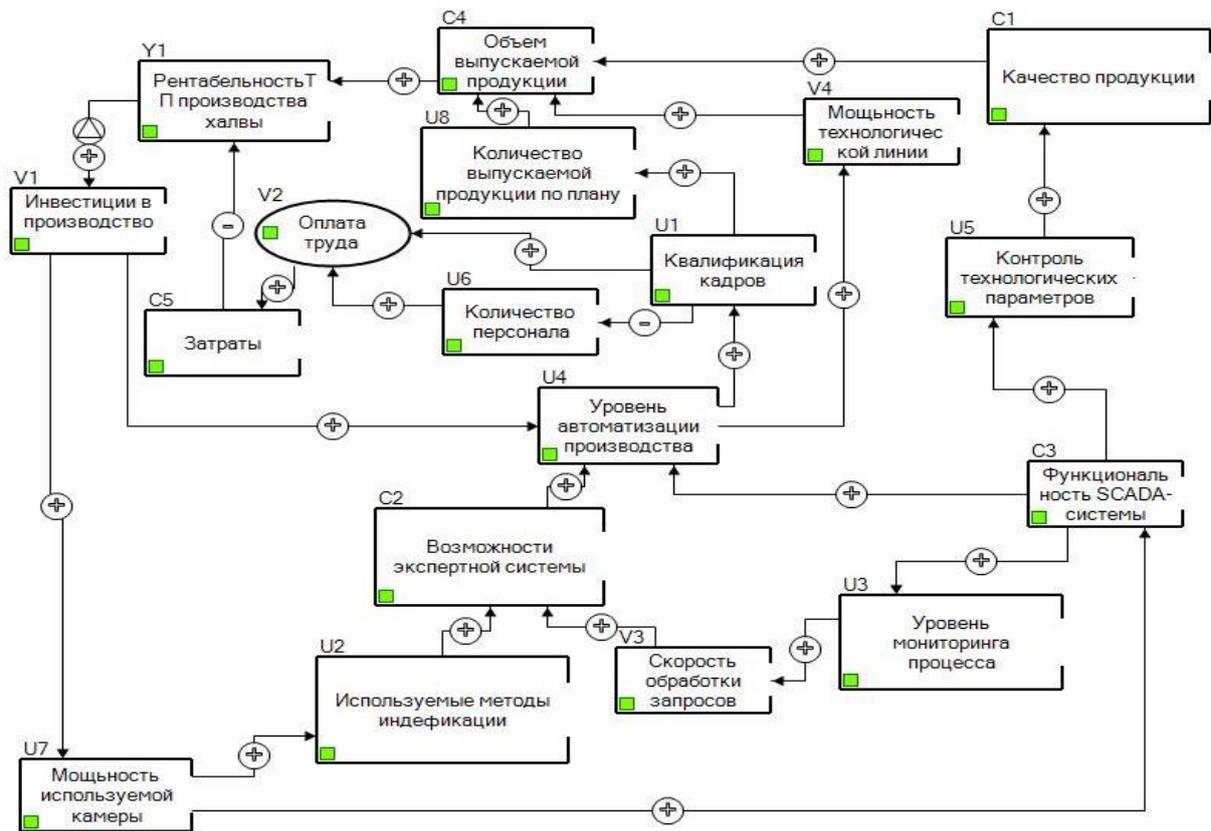


Рисунок 1.14. Системная диаграмма решения проблемы создания ИАСУКХ (Типы маркеров, указанные слева сверху над блоком: V – множество входных возмущающих параметров; U – множество входных управляемых параметров (варьируемых параметров); C – множество параметров состояния (показателей состояния системы на некотором этапе управления); Y – множество выходных целевых параметров (реализуемых в виде критериев управления).

Для процесса разработки интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством производства халвы построенная системная диаграмма включает следующие блоки-элементы:

- 1) V1: Инвестиции в производство.
- 2) V2: Оплата труда.
- 3) U1: Квалификация кадров.
- 4) U2: Используемые методы контроля и индикации.
- 5) U3: Уровень мониторинга процесса.
- 6) U4: Уровень автоматизации производства.

7) U5: Контроль технологических параметров и органолептических показателей качества.

10) U6: Количество персонала.

11) U7: Мощность используемой камеры.

12) U8: Количество выпускаемой продукции по плану.

13) C1: Качество продукции.

14) C2: Возможности интеллектуальной автоматизированной (экспертной)

системы

15) C3: Функциональность SCADA-системы

16) C4: Объем выпускаемой продукции.

17) C5: Затраты.

18) 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 халвы 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 халвы, которая состоит из операторов  $\mu$  состояний (С) и операторов  $\eta$  целевых выходов/результатов (Y), где T – упорядоченное множество моментов времени t, на котором определяются С и Y [27].

Отражение:

$$\left. \begin{aligned}
 \eta_1: \{C_4; C_5\}T_1 \rightarrow Y_1 \\
 \mu_1: \{U_5; C_3\}T_1 \rightarrow C_1 \\
 \mu_2: \{U_2; V_3; U_3; U_7; V_1; C_3\}T_1 \rightarrow C_2 \\
 \mu_3: \{U_7; V_1\}T_1 \rightarrow C_3 \\
 \mu_4: \{U_8; U_1; U_4; V_1; Y_1; V_4; C_2; C_3\}T_1 \rightarrow C_4 \\
 \mu_5: \{V_2; U_6; U_1; U_4; V_1; Y_1; C_2; C_3\}T_1 \rightarrow C_5
 \end{aligned} \right\} (1.1)$$

где:

T1=Оперативный горизонт управления

T2=Тактический горизонт управления

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

Для повышения эффективности (рентабельности) технологического процесса производства халвы необходимо: увеличить инвестиции в производство для внедрения интеллектуальной автоматизированной системы

управления качеством производства халвы и увеличения функциональности 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 управления качеством халвы в процессе ее производства. Стратегические карты призваны сосредоточить внимание на наиболее важных сторонах деятельности при создании этой автоматизированной системы управления.

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

На рисунке 1.15 представлена разработанная стратегическая карта создания интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы в процессе ее производства.

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»);

- Клиенты (К) – в данном аспекте отражаются все цели и критерии, связанные с клиентами при реализации выпускаемой продукции;

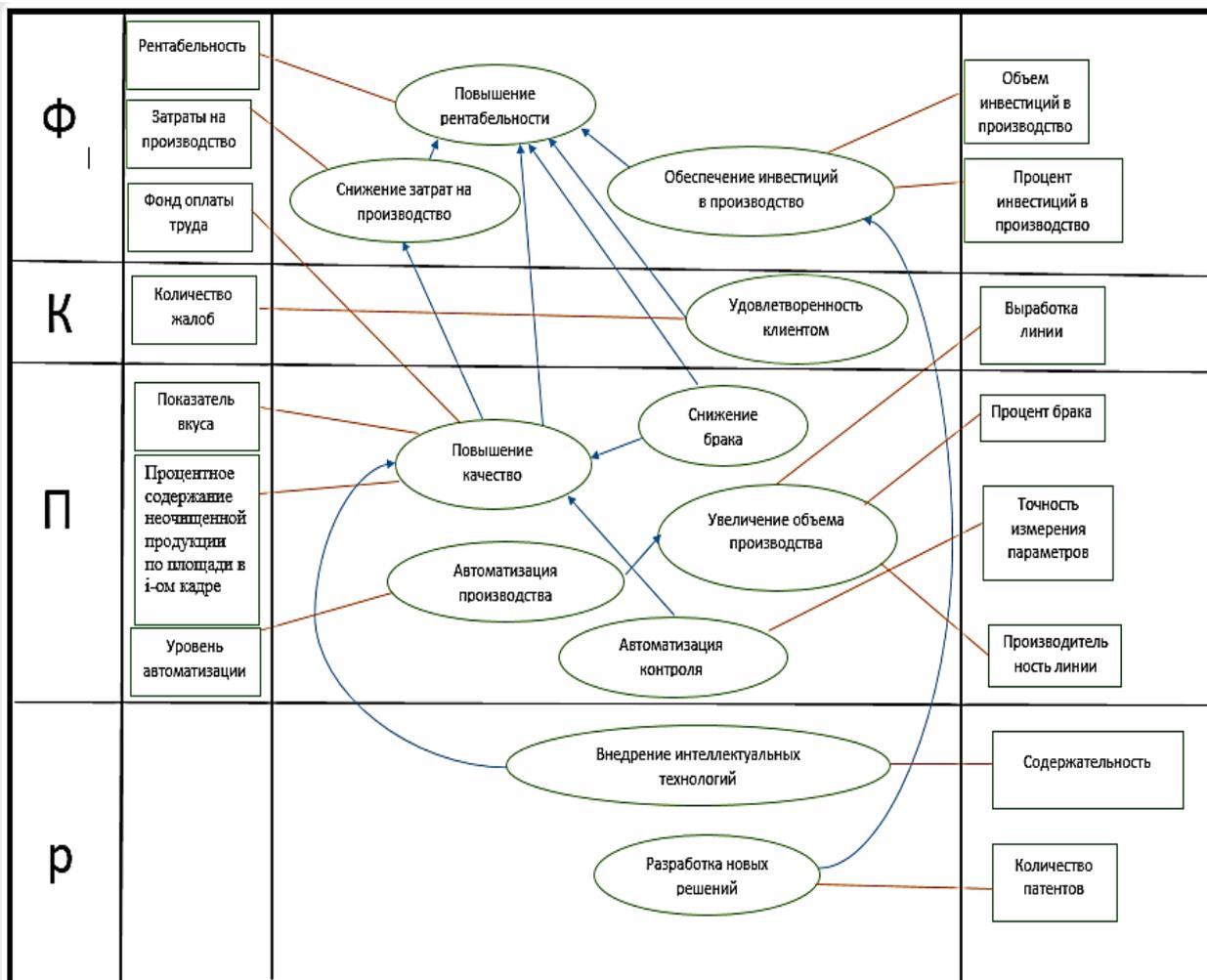


Рисунок 1.15 Стратегическая карта

- Внутренние бизнес-процессы (П) – в данном аспекте отражаются все цели и критерии, связанные с улучшением основных внутренних бизнес-процессов производства халвы, направленных на реализацию финансовых и клиентских целей;

- Обучение и развитие (Р) – в данном аспекте отражаются все цели и критерии, связанные с обучением и развитием сотрудников, связанных с производством исследуемых кондитерских изделий.

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

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

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

2. Фонд оплаты труда  $Z_T = c(l) \leq ConstR$

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

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

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

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

Где:  $X_t$  – коэффициент обеспеченности предстоящей инвестиционной деятельности предприятия и наличия у него инвестиционных ресурсов,  $r$  – прогнозируемый полный объем инвестиций.

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

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

6. Рост плана  $K(t) = \frac{\Delta(F_n - F_{п})}{12} \rightarrow \max$

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

$F_{п}$  – объем производства за месяц предыдущего года.

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

где:  $V_{деф}$  – количество изделий с выявленными дефектами,

несоответствиями за оцениваемый период,

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

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

Да где  $A_3$

где:  $a$  – результат измерения,  $\Delta$  – погрешность измерения,

$A_3$  – заданная величина.

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

где:  $N_v$  - 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. Уровень автоматизации  $Un = \frac{\sum P_a ПМ}{\sum P_a КПМ + P_m + P_p} \rightarrow \max$

где:  $P_{м.р}$  – число рабочих, выполняющих работу при помощи ручного  
механизированного инструмента;  $P_p$  – число рабочих, выполняющих работу  
вручную;  $\Pi$  – коэффициент производительности оборудования,

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

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

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

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

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

### 1.7. Выводы по 1 главе

В первой главе проведен анализ технологического процесса производства  
халвы в качестве объекта автоматизации. Выявлены, систематизированы и  
проанализированы особенности исследуемого процесса, представлено  
описание основных стадий и материальных потоков при производстве халвы.

Проведена систематизация основных операций процесса производства  
халвы и показаны факторы, определяющие эффективность всех стадий и  
производства в целом.

Представлен всесторонний анализ технологических и режимных параметров, оказывающих влияние на качество сырья, полуфабрикатов и готовой подсолнечной халвы. Рассмотрено их влияние на ход каждой операции производства халвы.

По полученным данным разработана схема влияния исходного сырья, промежуточных операций на качество готовой халвы на всех операциях производства.

Изучена информативность всех исследованных технологических и режимных параметров. Выявлены необходимые точки контроля и регулирования. Представлена функционально – структурная схема формирования качества с указанием необходимых точек контроля и регулирования.

Установлено, что применяемые в настоящее время методы оценки основных органолептических показателей качества субъективны и определяются только путем лабораторного контроля. Отмечены недостатки органолептических измерений.

Определены основные задачи систем автоматизации контроля и управления качеством халвы.

Поскольку состояние в кондитерской промышленности России требует использования цифровизации для решения этой важной проблемы была поставлена задача разработки методов и средств автоматизации контроля в ходе ТП производства халвы следующих органолептических показателей. Это: внешний вид (размер, цвет, состояние поверхности, целостность) и коэффициент извлечения примеси.

Проведен анализ существующих систем автоматизации на кондитерских предприятиях. Выявлено, что для управления ТП по показателям качества в условиях частой смены исходной информации целесообразно использовать интеллектуальные методы и средства, необходимые для автоматизации контроля и управления качеством халвы.

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

С учетом проведенного всестороннего анализа проблемы автоматизации управления качеством халвы, в данной работе предлагается ее решение на основе разработки интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством производства халвы с использованием нейросетевых методов и технологий, генетических алгоритмов, системы технического зрения и имитационного моделирования.

### **1.8. Цель и задачи исследования**

Целью настоящей диссертационной работы является повышение эффективности производства подсолнечной халвы и стабилизация качества готовой продукции на основе научного обоснования и разработки интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством производства халвы с использованием гибридных методов и технологий.

Для достижения цели были поставлены и решены следующие задачи:

- Анализ особенностей ТП производства подсолнечной халвы (ПХ) и протекающих в них информационных процессов с целью выявления факторов, нарушающих устойчивое функционирование системы, и разработки нового подхода к автоматизации контроля и управления качеством ПХ с использованием интеллектуальных технологий.
- Разработка методических основ построения и формирования интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством производства халвы.
- Проведение экспериментальных исследований с целью разработки структурно-параметрических и математических моделей основных этапов производства подсолнечной халвы.

- Анализ методов и подходов использования технологий искусственного интеллекта для автоматизации контроля в потоке основных органолептических показателей качества семян подсолнечника, полуфабрикатов и готовой подсолнечной халвы.
- Разработка функциональных схем автоматизации основных технологических процессов производства подсолнечной халвы с учетом разработанных средств автоматизации органолептических показателей.
- Разработка математического, алгоритмического и программного обеспечения интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством производства халвы. Подбор технических средств для реализации этой интеллектуальной системы.
- Проведение практической апробации разработанных методов и способов разработки интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством производства халвы на действующем кондитерском предприятии.
- 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 ХАЛВЫ**

### **2.1. Проблемы управления технологическими процессами производства халвы и пути их преодоления**

Большинство технологических процессов (ТП) производства халвы (смеситель, бункеры) имеют неустановившиеся режимы с периодической повторяемостью разнородных операций; другие (вечная машина, сепаратор, молотковая мельница, установка обжаривания и др.) имеют достаточно однородные установившиеся режимы. Халва представляет собой сложные многокомпонентные смеси, состояние которой зависит от многих факторов (качества сырья, режимов работы оборудования, реологических, структурно-механических и органолептических свойств). Все это вызывает колебания параметров процессов производства данных кондитерских изделий. Проблемами управления технологическими процессами производства халвы также являются: необходимость учета большого числа имеющихся критериев качества; взаимосвязанность критериев, целей и других элементов процесса производства халвы; 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 адаптивных систем управления, оценкой возможностей их практического применения и рекомендацией наилучшего варианта для использования при управлении процессом производством халвы.

## **2.2. Оценка возможностей практического применения различных методов, алгоритмов и классов адаптивных систем для управления производством халвы**

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.

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 оптимальных условий функционирования системы управления

Дальнейшим шагом развития адаптивных и самонастраивающихся систем управления явилась разработка экстремальных регуляторов. Однако, несмотря на интенсивные исследования повышения 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.

Нами проведен анализ оценки возможностей практического применения беспойсковых самонастраивающихся регуляторов, являющихся основным классом адаптивных систем, для внедрения их на линиях производства халвы. Но, по поводу практического использования данных систем адаптивного управления в производственных линиях в последнее время появились критические оценки.

Обзор и анализ методов адаптивного управления показал, что практическое их использование в реальных условиях производства кондитерских изделий для управления даже одномерными объектами при неконтролируемых возмущениях параметров и сигналов является проблематичным.

Для многомерных, многоэтапных динамических объектов, каким является линия производства халвы, в условиях неопределенности наиболее подходят системы, основанные на искусственном интеллекте.

### **2.3. Анализ особенностей использования методов искусственного интеллекта в решении задач интеллектуализации управления качеством производства халвы**

#### ***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.

Существует несколько схем классификации интеллектуальных систем. Авторами работ [16, 63] предлагается следующая классификация интеллектуальных систем, представленная на рисунке 2.1.

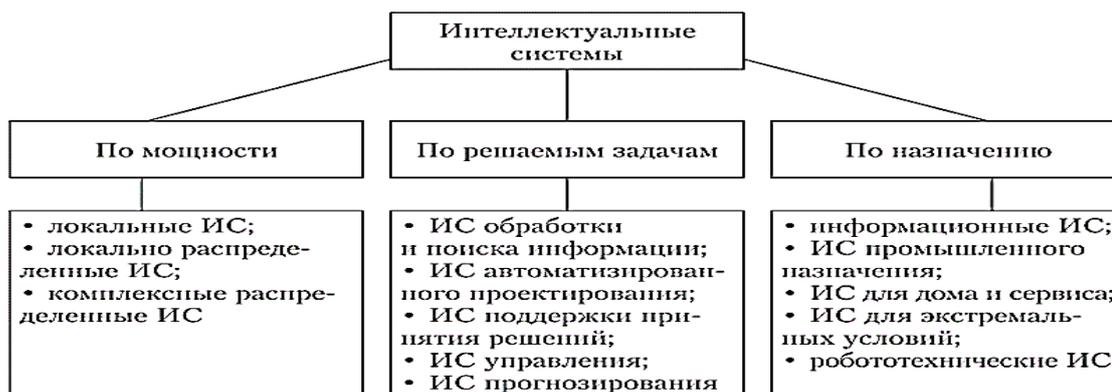


Рисунок 2.1. Классификация интеллектуальных систем

На рисунке 2.2 представлена классификация интеллектуальных систем, в которую входят: интеллектуальные информационные системы (ИИС); расчетно-логические; гибридные; рефлексорные; нейронные; генетические и мультиагентные системы.

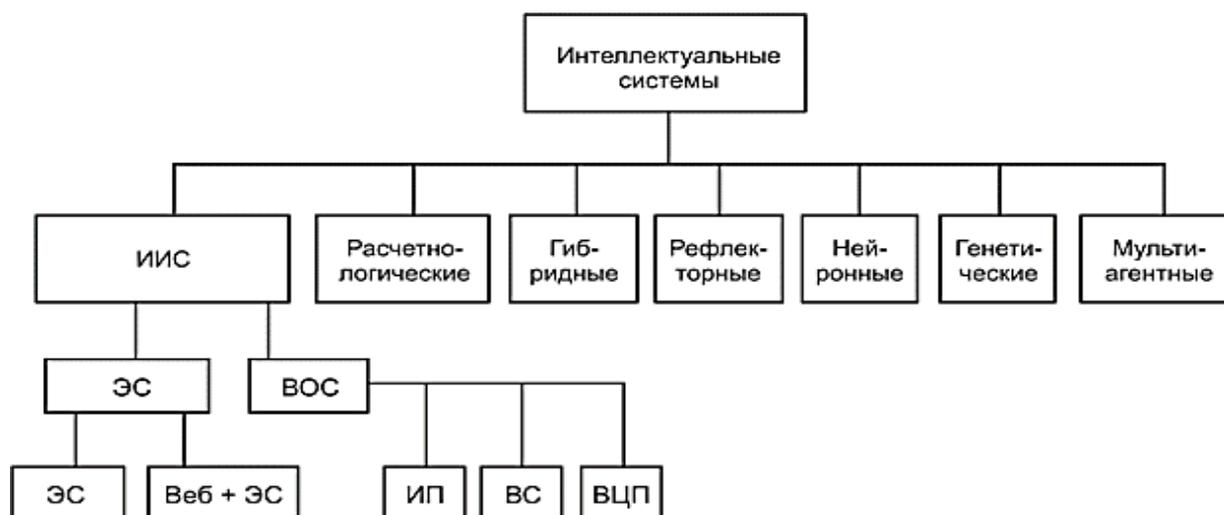


Рисунок 2.2. Классификация интеллектуальных систем

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.

### *2. Рефлекторная интеллектуальная система*

Рефлекторная система - 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.

### *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 ИИС присутствуют средства естественно-языкового интерфейса. Следовательно, появляется возможность непосредственного применения ИИС в качестве средств поддержки процессов анализа, оценки и принятия решений.

### *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 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.

### *6. Нейронные сети*

Нейронные сети. Под нейросетью понимается система вычислительных единиц — искусственных нейронов, функционирующих подобно нейронам мозга живых существ. 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].

Нейросетевые технологии являются одним из наиболее перспективных направлений развития искусственного интеллекта. 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*

Базовое понятие, лежащее в основе мультиагентных систем является понятие агента – 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. Под интеллектуальным агентом понимается модель активного элемента, имитирующая процессы обработки информации и принятия решения в сложных ситуациях по аналогии с интеллектуальным поведением человека в этих условиях [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 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.

*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.

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.*

*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 высокоэффективных технологий ИИС в решении задач интеллектуализации управления качеством халвы***

Проведенный предварительный анализ интеллектуальных информационных технологий (пп.2.1 – 2.3.) позволил выделить 6 базовых наиболее перспективных технологий ИИС для решения задач интеллектуализации управления качеством производства халвы. Это:

- Нейросетевые технологии
- Генетические алгоритмы
- Экспертные системы
- Системы компьютерного зрения
- Онтологические технологии и модели
- Мультиагентное имитационное моделирование

Нейросетевые системы управления относятся к классу нелинейных динамических систем. Нейронные сети не программируются в привычном смысле этого слова, они обучаются. Возможность обучения — одно из главных преимуществ нейронных сетей перед традиционными алгоритмами. 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.).

Использование нейросетей в системах управления с применением обучаемых многослойных нейросетей в настоящее время остается по-прежнему актуальным. 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 меньшее, чем экспертные системы, 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 управления:

- нейроконтроллеры пригодны для 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.

Одним из наиболее часто применяемых в такой обстановке подходов являются генетические алгоритмы (ГА). Генетический алгоритм (англ. genetic algorithm) — это эвристический алгоритм поиска, используемый для решения задач оптимизации и моделирования путём случайного подбора, комбинирования и вариации искомым параметров с использованием механизмов, аналогичных естественному отбору в природе [8, 34].

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

Таким образом, 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 дальнейших поиск оптимального решения в условиях ограниченных вычислительных ресурсов.

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

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].

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

серьёзной и значимой частью пищевого 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 2.3 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.

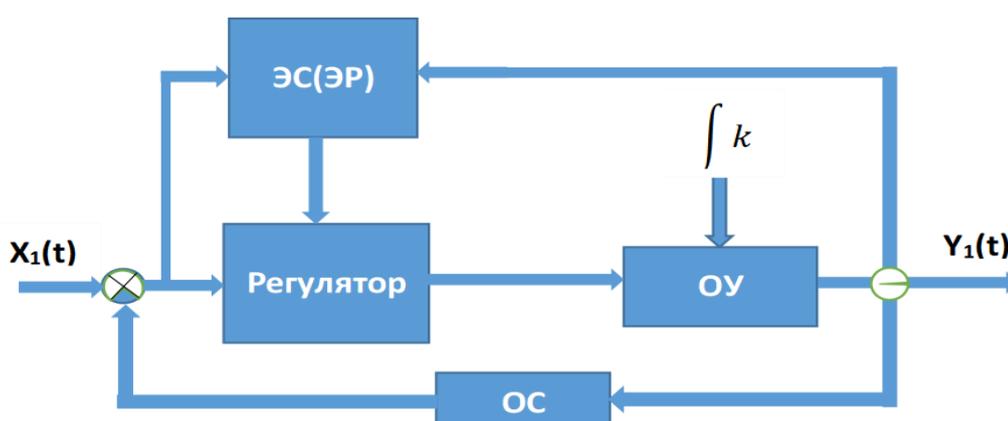


Рисунок 2.3. Типовая схема с экспертным регулятором

Такая схема может найти применение, например, для управления гибкой системой производства (ГСП) различных видов халвы, где  $X_1(t)$  - совокупность заказов на различные виды халвы (подсолнечная, кунжутная (тахинная); арахисовая; ореховая и т.д.),  $Y_1(t)$  - совокупность произведенного конечного

продукта. Для ГСП характерны признаки: частая вариация  $X_I(t)$ , большой объем обрабатываемой информации и динамичная среда функционирования [42, 82].

ЭР здесь производит оценку оперативного состояния системы производства халвы 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.

Важную часть в области искусственного интеллекта занимают системы компьютерного зрения (СКЗ) [6, 14, 21, 30, 31, 44, 45, 56, 71, 78, 87]. Компьютерное зрение — революционная технология, имеющая безусловные 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 [14, 21, 30, 45, 56, 87, 88]. 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 [6, 31, 71].

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 [6, 88].

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 качества и инспекции качества различных изделий 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.

Анализ методов и средств имитационного моделирования и выбор наиболее эффективной системы для имитационного моделирования производства халвы

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 [58, 59]. 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.

Сравнительная характеристика известных систем имитационного моделирования показана в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Сравнительная характеристика систем имитационного моделирования

Система имитационного моделирования	Визуальное программирование	Текстовое программирование	Непрерывные модели	Дискретные модели	Генерация кода исполнения	Отображение графиков функций	Поддержка анимации	Интеграция с информационной системой	Ориентация на распределенные вычисления	Встроенные средства оптимизации
2D-Sim	+	+	+	-	+	+	+	-	-	-
ACSL	-	+	+	-	+	+	-	-	-	-
AnyLogic	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+
Awesim	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
BelSim2	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+
Dymola	+	+	+	-	-	+	+	-	-	-
Dynast	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-
Desmo	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Easy-5	+	+	+	+	-	+	-	+	-	-
Flexsim	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
LabView	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+
MICIC4	-	+	-	+	+	+	-	-	-	-
MVS	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
Pilgrim	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Simulink	+	-	+	+	-	+	-	+	-	+
Simkit	+	+	-	+	+	+	-	-	-	-
SYMBOLS-2000	+	-	+	-	-	+	+	-	-	-
VisSim	+	-	+	+	-	+	-	-	-	+
VTB	+	-	+	-	-	+	+	+	-	+
РДО (МВТУ)	+	-	+	+	-	+	-	-	-	-
СимНП	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-

Проведенный обзор и анализ методов и средств имитационного моделирования показал, что наиболее эффективной системой для мультиагентного имитационного моделирования производства халвы является AnyLogic.

#### ***2.3.4. Анализ возможности интеллектуализации системы управления качеством производства халвы***

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, такие методы и технологии искусственного интеллекта, как нейросетевые технологии, генетические алгоритмы, экспертные системы, системы компьютерного зрения и имитационные модели позволяют решать сложные задачи управления качеством выпускаемой 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 производство сырья, сложной формализуемой обстановки, влияния многочисленных факторов и режимных параметров используемого оборудования на процесс производства халвы, решением этих проблем может стать создание интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы на основе использования нейросетевых технологий, генетических алгоритмов, системы технического зрения, имитационных моделей и эффективного сочетания этих методов и технологий.*

## **2.4. Основные результаты и 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 управления качеством халвы в процессе производства.

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

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

Проведен анализ возможности использования методов искусственного интеллекта в решении задач интеллектуализации управления качеством производства халвы.

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

### **ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННЫХ, СТРУКТУРНО- ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ, МАТЕМАТИЧЕСКИХ И СИТУАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ОСНОВНЫХ ЭТАПОВ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ХАЛВЫ**

Решение задачи создания интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы в процессе ее производства возможно лишь при наличии имитационной, ситуационной, параметрической и математической моделей всех этапов этого производства.

#### **3.1. Мультиагентное имитационное моделирование процесса производства халвы с использованием ПО AnyLogic**

В результате проведенных 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 [58]. Данный тип моделирования необходим для проведения экспериментов, направленных на совершенствование исследуемого производственного процесса и его виртуального тестирования.

Проведенный обзор и анализ методов и средств имитационного моделирования показал, что наиболее эффективной системой для мультиагентного имитационного моделирования производства халвы является ПО AnyLogic.

Как было показано в 1 главе, 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 модели 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, рисунок 1.5. На основании имеющихся данных была разработана имитационная модель процесса производства халвы (рисунок 3.1).

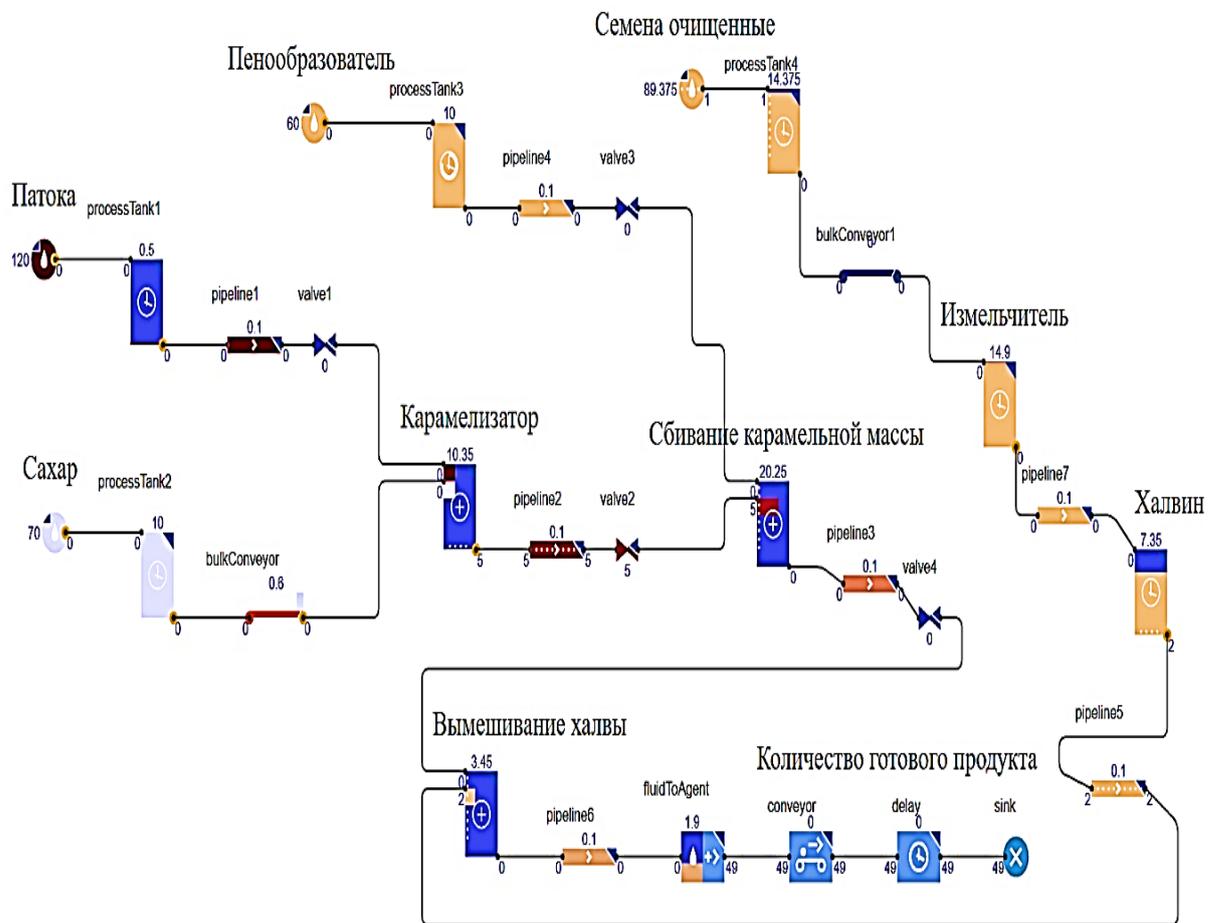


Рисунок 3.1. Имитационная модель процесса производства халвы

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 формования халвы [20].

Для разработки имитационной модели, были проанализированы основные характеристики, напрямую влияющие на качество проведения технологического процесса и на получение готовой продукции в целом.

На рисунке 3.2 разработана модель производства халвы в виде двумерной графики.

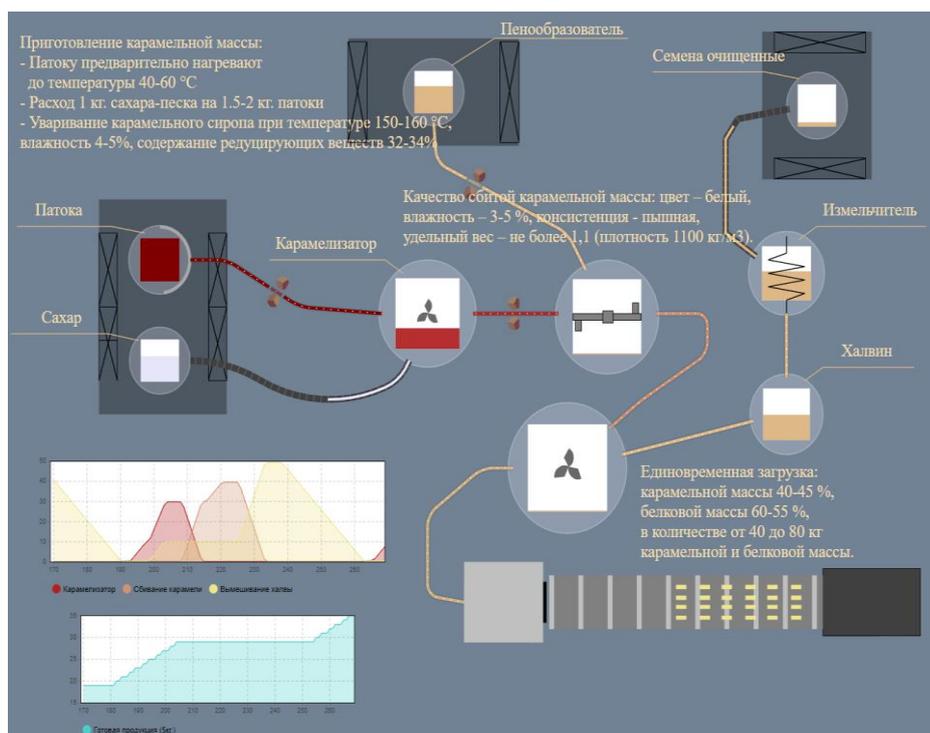


Рисунок 3.2. Модель производства халвы в формате двумерной графики

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 вымешивании 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 сбиту 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.

### **3.2. Анализ ТП производства халвы с использованием матрицы экспертных оценок влияния входных параметров на показатели качества халвы на всех стадиях производства**

Для решения задачи автоматизации управления качеством производства халвы необходимо наличие ситуационных, структурно- параметрических и математических моделей процессов всех стадий производства подсолнечной халвы, что позволит наглядно изучить влияние входных контролируемых и регулируемых параметров, возмущающих воздействий на исследуемые выходные показатели качества, а также дает возможность прогнозировать ход этих ТП и определять необходимые при этом режимы работы используемого оборудования [6, 59].

Были проведены экспериментальные исследования по выявлению основных входных и выходных параметров всех технологических процессов производства подсолнечной халвы, что позволит разработать ситуационные, структурно-параметрические и математические модели всех этапов исследуемого производства [6]. По методологии структурно-параметрического моделирования, изложенной в работах Ю.А. Ивашкина [58, 59], на основании полученных данных разработаны ситуационные, структурно-параметрические и математические модели (СПМ) связей между технологическими и режимными параметрами процессов и исследуемыми показателями качества на всех стадиях производства подсолнечной халвы с выделением наиболее важных факторов.

В таблицах 3.1 - 3.6 в виде таблиц экспертных оценок представлены результаты опроса экспертов-технологов на информативность параметров, оказывающих наибольшее влияние на показатели качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции (халвы) на всех стадиях ТП производства халвы.

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 [16-26].

### ***3.2.1. Результаты опроса экспертов-технологов по оценке влияния входных параметров на этап подготовки сырья к производству халвы***

Для разработки ситуационной, структурно-параметрической и математической моделей процесса подготовки сырья к производству халвы были проведены экспериментальные исследования этого технологического процесса.

Экспертная группа опытных специалистов кондитерских фабрик Холдинга «Объединенные кондитеры» выявила 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  $X_4$  ( $\phi$ ) (20-90%);
- расход воздуха при сепарировании  $X_5$  (Р) (1200-1500 м<sup>3</sup>/т);
- частота колебаний сита при сепарировании  $X_6$  ( $\Pi$ ) (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 3.1 показаны результаты опроса экспертов-технологов по оценке влияния входных параметров на этап подготовки сырья к производству халвы. В ней символом (\*) обозначено наличие функциональной связи между входными и выходными переменными.

Таблица 3.1 Результаты опроса экспертов-технологов

	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$
$X_1$	1				*	*	*	*
$X_2$	*	1			*	*	*	*
$X_3$			1		*	*	*	*
$X_4$	*	*		1	*	*	*	
$X_5$	*				1	*	*	*
$X_6$					*	1	*	
$X_7$	*				*	*	1	*
$X_8$	*		*		*	*	*	1

### ***3.2.2. 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 3.2 показаны результаты опроса экспертов-технологов по оценке влияния входных параметров на процессы приготовления сахарного сиропа. В ней символом (\*) обозначено наличие функциональной связи между входными и выходными переменными.

Таблица 3.2 - Результаты опроса экспертов-технологов процесса приготовления сахарного сиропа

	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19
X9	1										
X10		1									
X11			1								
X12				1							
X13					1						
X14		*	*			1					
X15	*						1				
X16			*	*				1			
X17			*			*			1		
X18					*		*	*		1	
X19				*			*				1

### **3.2.3. 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 (контролируется рефрактометром)  $X_{22}, C$  от 74 до 80%;
- вязкость сахарного сиропа,  $X_{23}, \mu$  от 13 до 20 Пас;
- давление греющего пара в рубашке варочной станции  $X_{24}, P_1$  от 392 до 499 кПа;
- давление внутри варочной станции  $X_{25}, P_2$  от 98 до 105 кПа;
- время уваривания  $X_{26}, \tau$  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 3.3 показаны результаты опроса экспертов-технологов по оценке влияния входных параметров на этап на процессы приготовления карамельного сиропа. В ней символом (\*) обозначено наличие функциональной связи между входными и выходными переменными.

Таблица 3.3 - Результаты опроса экспертов-технологов

	X20	X21	X22	X23	X24	X25	X26	X27	X28
X9	1								
X10		1							
X11			1						
X12				1					
X13					1				
X14		*	*			1			
X15	*						1		

Продолжение таблицы 3.3

	X20	X21	X22	X23	X24	X25	X26	X27	X28
X16			*	*				1	
X17			*			*			1

**3.2.4. 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, подаваемого на сбивание  $X_{29}$ ,  $T_{п.с.}$  от 105 до 109 °С;
- вязкость подаваемого на сбивание карамельного сиропа  $X_{30}$ ,  $\eta$  (от 9,0 Пас до 16 Пас);
- массовая доля влаги подаваемого на сбивание карамельного сиропа  $X_{31}$ ,  $W$  (от 15% до 19%);
- плотность карамельного сиропа  $X_{32}$ ,  $\rho$  (от 730 до 770 кг/м<sup>3</sup>);
- давление пара перед началом сбивания  $X_{33}$ ,  $P$  (от 98 кПа до 117 кПа);
- время сбивания  $X_{34}$ ,  $\tau$  (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  $X_{37}$ ,  $n$  (от 0,35 1/с до 0,65 1/с);
- влажность готовой карамельной массы,  $Y_8$  ( $X_{38}$ ),  $W$  от 14 до 16 %;
- температура на выходе карамельного сиропа  $Y_9$  ( $X_{39}$ ),  $T$  от 90—95°С;
- вязкость полученного карамельного сиропа  $Y_{10}$  ( $X_{40}$ ),  $\mu$  от 12 до 16 Пас;
- цвет карамельного сиропа после сбивания  $Y_{11}$  ( $X_{41}$ );
- величина кристаллов сахара в карамельном сиропе  $Y_{12}$  ( $X_{42}$ ) (от 30 до 70 мкм).

В таблице 3.4 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 3.4 - влияние входных параметров на процессы уваривания и сбивания карамельной массы

	X29	X30	X31	X32	X33	X34	X35	X36	X37	X38	X39	X40	X41	X42
X29	1													
X30		1												
X31			1											
X32		*	*	1										
X33	*	*		*	1									
X34	*					1								
X35					*	*	1							
X36								1						
X37			*	*		*	*		1					
X38					*					1				
X39					*		*	*			1			
X40		*				*		*				1		
X41			*										1	
X42				*		*								1

### ***3.2.5. 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 °С);
- количество оборотов мешалки в темперирующей машине  $X_{45}, n$  (50-60 об. в минуту);
- температура воды в рубашке темперирующей машины  $X_{46}, T$  (40-50 °С);
- влажность поступающей взбитой массы  $X_{47}, W$  (60-70 %);
- температура полученной на выходе массы халвы  $Y_9 (X_{48}), T$  от 90—95°С;
- доля сухих веществ в массе халвы после вымешивания  $Y_{10} (X_{49}), W$  (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 3.5 показаны результаты опроса экспертов-технологов по оценке влияния входных параметров на процессы вымешивания халвы. В ней символом (\*) обозначено наличие функциональной связи между входными и выходными переменными.

Таблица 3.5 - Влияние входных параметров на процессы вымешивания халвы

	X43	X44	X45	X46	X47	X48	X49	X50	X51
X43	1								
X44		1							
X45			1						
X46		*	*	1					
X47		*		*	1				
X48		*		*		1			
X49	*				*		1		
X50					*			1	
X51			*	*					1

### ***3.2.6. 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  $X_{53}$ ,  $\mu$  (от  $4 \times 10^{-2}$  Пас до  $32 \times 10^{-2}$  Пас);
- температура массы халвы, поступающей на формирование  $X_{54}$ ,  $T$  (от  $32 \text{ C}^0$  до  $42 \text{ C}^0$ );
- 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 (изменение размеров кристаллов сахара в массе) халвы  $Y_{18}$  ( $X_{57}$ ),  $S$  от 30 до 70 мкм;
- цвет полученной халвы  $Y_{19}$  ( $X_{58}$ ),  $\text{Ц}$ .

В таблице 3.6 показаны результаты опроса экспертов-технологов по оценке влияния входных параметров на процессы вымешивания халвы. В ней символом (\*) обозначено наличие функциональной связи между входными и выходными переменными.

Таблица 3.6 влияния входных параметров на процессы формирования халвы

	X52	X53	X54	X55	X56	X57	X58
X52	1						
X53		1					
X54			1				
X55	*			1			
X56				*	1		
X57			*			1	
X58		*					1

Таким образом, на основе опроса технологов- экспертов кондитерских предприятий, были получены данные для разработки ситуационных, структурно- параметрических и математических моделей основных стадий производства халвы.

### **3.3. Получение параметрических и математических моделей всех стадий производства подсолнечной халвы**

#### ***3.3.1. Способы построения параметрических моделей всех стадий производства подсолнечной халвы***

Построение структурно – параметрических моделей (СПМ) на всех стадиях производства халвы велось в соответствии с методами, изложенными в работах [6, 58, 59].

**На первом этапе** исходя из полученных коэффициентов корреляции (формула (3.1)) было установлено наличие связей между параметрами. Была сформирована таблица корреляционных связей, отражающая глубину

статистической связи между параметрами на всех стадиях процесса производства халвы.

$$r_{ij} = \frac{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (\bar{x}_i - x_{ki})(\bar{x}_j - x_{kj})}{\sqrt{S_{x_i}^2} \sqrt{S_j^2}}, \quad (3.1)$$

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,

$$t_{ij} = \frac{r_{ij} \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_{ij}^2}} > t_{кр}^{v, \alpha} \quad (3.2)$$

в противном случае коэффициент  $r_{ij}$  приравнивался к 0.

**На втором этапе** с использованием метода регрессионного анализа определяли характер связи между параметрами. На основании статистических наблюдений контролируемых параметров в  $n$  опытах ( $k = \overline{1, n}$ ) рассчитывались коэффициенты линейной множественной регрессии для приращений  $\Delta x_i, \Delta x_j$ :

$$\Delta x_i = \sum_{j=1}^{m_i} p_{ij} \Delta x_j ; \quad i = \overline{1, m_i} \quad (3.3)$$

где  $m_i$  – число факторов  $\Delta x_j$ , имеющих достаточно сильную корреляционную связь с  $i$ -м отклонением  $\Delta x_i$ . ;  $p_{ij}$  – коэффициенты связи  $j$ -го параметра ( $j = \overline{1, m_i}$ ) с  $i$ -м.

Затем коэффициенты регрессии  $P_{ij}$  приводились к безразмерным характеристикам связей относительно среднеквадратичных отклонений  $\sigma_{x_i}, \sigma_{x_j}$

$$C_{ij} = p_{ij} \cdot \frac{\sigma_{x_j}}{\sigma_{x_i}} ; \quad i = \overline{1, n} \quad (3.4)$$

На основании полученных данных для каждого этапа ТП производства была построена математическая модель с последующим ситуационным моделированием и идентификацией состояния и прогнозирования качества халвы.

### 3.3.2. Получение параметрических и математических моделей всех стадий производства халвы

#### 3.3.2.1. Параметрическая и математическая модели (ПММ) процесса подготовки сырья к производству

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. В результате анализа полученных данных на рисунке 3.3 представлена разработанная параметрическая модель подготовки сырья к производству подсолнечной халвы [19].

Параметрическое моделирование процесса подготовки сырья к производству сводилось к построению матриц взаимосвязей (п.3.3.1.). Разработанные по описанной выше методике структурно-параметрические модели корреляционных, регрессионных и безразмерных сопоставимых оценок параметрических связей основных участков производства халвы представлены в таблицах 3.7 – 3.24.

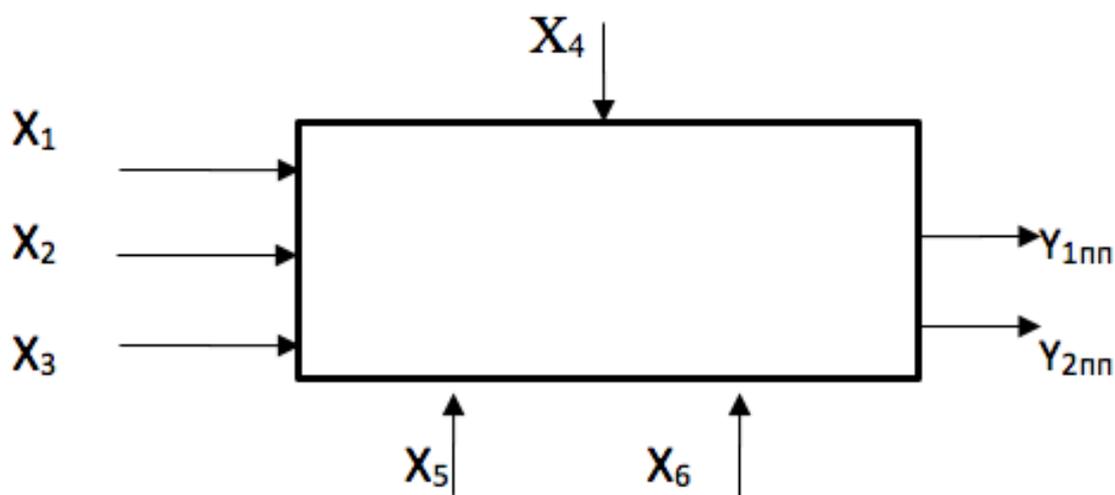


Рисунок 3.3. Структурно - параметрическая модель подготовки сырья к производству халвы

Таблица 3.7 - Преобразованная матрица коэффициентов корреляции.

	Влажность с. п., X <sub>1</sub>	Температура с. п., X <sub>2</sub>	Гран. состав с. п., X <sub>3</sub>	Влажность воздуха, X <sub>4</sub>	Расход воздуха, X <sub>5</sub>	Частота колебаний сита, X <sub>6</sub>	Коэффициент извлеч. примесей, X <sub>7</sub>	Внешний вид с.п., X <sub>8</sub>
<b>X<sub>1</sub></b>	<b>1</b>	0	0	-0,643	0	0	0	0
<b>X<sub>2</sub></b>	0	<b>1</b>	0	0,733	0,530	0	-0,756	0
<b>X<sub>3</sub></b>	0	0	<b>1</b>	0	0	0,863	0	0,557
<b>X<sub>4</sub></b>	-0,643	0,733	0	<b>1</b>	0	0,684	0	0
<b>X<sub>5</sub></b>	0	0,530	0	0	<b>1</b>	0	0,602	0
<b>X<sub>6</sub></b>	0	0	0,863	0,684	0	<b>1</b>	0	0
<b>Y<sub>1</sub> ип (X<sub>7</sub>)</b>	0	-0,756	0	0	0,602	0	<b>1</b>	0
<b>Y<sub>2</sub> сп (X<sub>8</sub>)</b>	0	0	0,557	0	0	0	0	<b>1</b>

Таблица 3.8 - Регрессионная матрица связей

	Влажность с. п., X <sub>1</sub>	Температура с. п., X <sub>2</sub>	Гран. состав с. п., X <sub>3</sub>	Влажность воздуха, X <sub>4</sub>	Расход воздуха, X <sub>5</sub>	Частота колебаний сита, X <sub>6</sub>	Коэффициент извлеч. примесей, X <sub>7</sub>	Внешний вид с.п., X <sub>8</sub>
<b>X<sub>1</sub></b>	<b>1</b>	0	0	-0,53	0	0	0	0
<b>X<sub>2</sub></b>	0	<b>1</b>	0	0,6	0,27	0	-0,25	0
<b>X<sub>3</sub></b>	0	0	<b>1</b>	0	0	0,33	0	0,48
<b>X<sub>4</sub></b>	-0,27	0,45	0	<b>1</b>	0	0,46	0	0
<b>X<sub>5</sub></b>	0	0,23	0	0	<b>1</b>	0	0,3	0
<b>X<sub>6</sub></b>	0	0	0,59	0,24	0	<b>1</b>	0	0
<b>Y<sub>1</sub> ип (X<sub>7</sub>)</b>	0	-0,64	0	0	0,44	0	<b>1</b>	0
<b>Y<sub>2</sub> сп (X<sub>8</sub>)</b>	0	0	0,38	0	0	0	0	<b>1</b>

Таблица 3.9 - Матрица безразмерных характеристик связей

	Влажность с. п., X <sub>1</sub>	Температура с. п., X <sub>2</sub>	Гран. состав с. п., X <sub>3</sub>	Влажность воздуха, X <sub>4</sub>	Расход воздуха, X <sub>5</sub>	Частота колебаний сита, X <sub>6</sub>	Коэффициент извлеч. примесей, X <sub>7</sub>	Внешний вид с.п., X <sub>8</sub>
<b>X<sub>1</sub></b>	<b>1</b>	0	0	-0,43	0	0	0	0
<b>X<sub>2</sub></b>	0	<b>1</b>	0	0,47	0,22	0	-0,1	0
<b>X<sub>3</sub></b>	0	0	<b>1</b>	0	0	0,48	0	0,56
<b>X<sub>4</sub></b>	-0,16	0,32	0	<b>1</b>	0	0,53	0	0
<b>X<sub>5</sub></b>	0	0,38	0	0	<b>1</b>	0	0,23	0
<b>X<sub>6</sub></b>	0	0	0,48	0,18	0	<b>1</b>	0	0
<b>Y<sub>1</sub> ип (X<sub>7</sub>)</b>	0	-0,43	0	0	0,13	0	<b>1</b>	0
<b>Y<sub>2</sub> сп (X<sub>8</sub>)</b>	0	0	0,16	0	0	0	0	<b>1</b>

На основе полученных результатов была выведена математическая модель (3.5) процесса сепарирования семян подсолнечника:

$$\left. \begin{aligned} Y_{1ип} &= -0,72 X_1 + 0,53 X_2 - 0,81 X_3 - 0,54 X_4 + 0,78 X_5 + 0,64 X_6 \\ Y_{2сп.} &= -0,62 X_1 + 0,54 X_3 + 0,56 X_5 + 0,48 X_6 \end{aligned} \right\} (3.5)$$

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  $\approx 10$  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  $\eta$  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 3.4. Подробные расчеты и все полученные приведены в нашей статье [23].

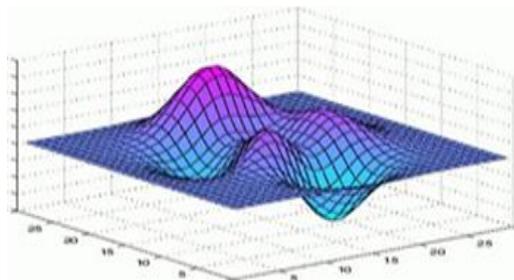


Рисунок 3.4. Пример полученных графиков зависимостей выходного параметра от разных входных параметров

Аналогично по описанной выше методике составлены СПММ параметрических связей остальных выделенных участков производства халвы. Полученные результаты подробно описаны в нашей работе [19].

### 3.3.2.2. ПММ процесса приготовления сахарного сиропа

Параметрическая модель процесса приготовления сахарного сиропа схематично представлена на рисунке 3.5.

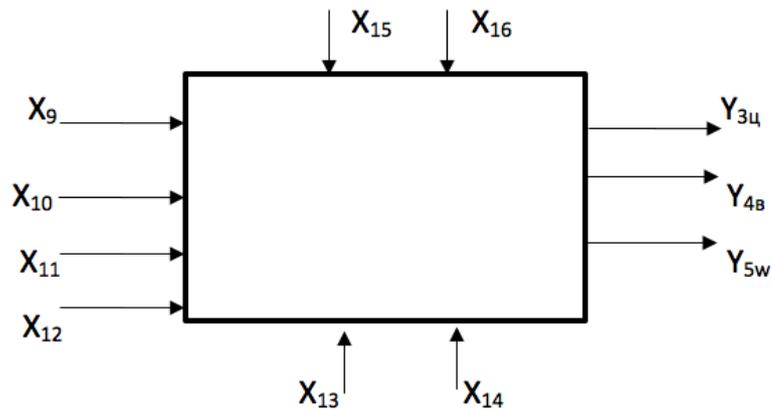


Рисунок 3.5. Структурно- параметрическая модель приготовления сахарного сиропа

Таблица 3.10 - Преобразованная матрица коэффициентов корреляции.

	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>13</sub>	X <sub>14</sub>	X <sub>15</sub>	X <sub>16</sub>	Y <sub>3цсс</sub> (X <sub>17</sub> )	Y <sub>4всс</sub> (X <sub>18</sub> )	Y <sub>5влсс</sub> (X <sub>19</sub> )
X <sub>9</sub>	1	0	0	0	0	0	-0,541	0	0	0	0
X <sub>10</sub>	0	1	0	0	0,666	0	0	0	0	0	0
X <sub>11</sub>	0	0	1	0	0,632	0	0	0,945	0,565	0	0
X <sub>12</sub>	0	0	0	1	0	0	0	0,710	0	0	0,824
X <sub>13</sub>	0	0,666	0,632	0	1	0,542	0	0	0	0,669	0
X <sub>14</sub>	0	0	0	0	0,542	1	0	0	-0,765	0	0
X <sub>15</sub>	-0,541	0	0	0	0	0	1	0	0	0,700	0,836
X <sub>16</sub>	0	0	0,945	0,710	0	0	0	1	0	0,691	0
Y <sub>3цсс</sub> (X <sub>17</sub> )	0	0	0,565	0	0	-0,765	0	0	1	0	0
Y <sub>4всс</sub> (X <sub>18</sub> )	0	0	0	0	0,669	0	0,700	0,691	0	1	0
Y <sub>5влсс</sub> (X <sub>19</sub> )	0	0	0	0,824	0	0	0,836	0	0	0	1

Таблица 3.11- Регрессионная матрица связей.

	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>13</sub>	X <sub>14</sub>	X <sub>15</sub>	X <sub>16</sub>	Y <sub>3цсс</sub> (X <sub>17</sub> )	Y <sub>4всс</sub> (X <sub>18</sub> )	Y <sub>5влсс</sub> (X <sub>19</sub> )
X <sub>9</sub>	1	0	0	0	0	0	0,54	0	0	0	0
X <sub>10</sub>	0	1	0	0	0,63	0	0	0	0	0	0
X <sub>11</sub>	0	0	1	0	0,35	0	0	0,88	0,67	0	0
X <sub>12</sub>	0	0	0	1	0	0	0	0,69	0	0	0,79
X <sub>13</sub>	0	0,42	0,74	0	1	0,47	0	0	0	0,3	0
X <sub>14</sub>	0	0	0	0	0,65	1	0	0	0,28	0	0
X <sub>15</sub>	0,33	0	0	0	0	0	1	0	0	0,74	0,38
X <sub>16</sub>	0	0	0,65	0,68	0	0	0	1	0	0,31	0
Y <sub>3цсс</sub> (X <sub>17</sub> )	0	0	0,29	0	0	0,41	0	0	1	0	0

Продолжение таблицы 3.11

	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>13</sub>	X <sub>14</sub>	X <sub>15</sub>	X <sub>16</sub>	Y <sub>3цсс</sub> (X <sub>17</sub> )	Y <sub>4всс</sub> (X <sub>18</sub> )	Y <sub>5влсс</sub> (X <sub>19</sub> )
Y <sub>4всс</sub> (X <sub>18</sub> )	0	0	0	0	0,14	0	0,51	0,63	0	1	0
Y <sub>5влсс</sub> (X <sub>19</sub> )	0	0	0	0,76	0	0	0,81	0	0	0	1

Таблица 3.12 - Матрица безразмерных характеристик связей.

	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>13</sub>	X <sub>14</sub>	X <sub>15</sub>	X <sub>16</sub>	Y <sub>3цсс</sub> (X <sub>17</sub> )	Y <sub>4всс</sub> (X <sub>18</sub> )	Y <sub>5влсс</sub> (X <sub>19</sub> )
X <sub>9</sub>	1	0	0	0	0	0	0,31	0	0	0	0
X <sub>10</sub>	0	1	0	0	0,57	0	0	0	0	0	0
X <sub>11</sub>	0	0	1	0	0,31	0	0	0,83	0,62	0	0
X <sub>12</sub>	0	0	0	1	0	0	0	-0,63	0	0	0,74
X <sub>13</sub>	0	0,24	0,63	0	1	0,43	0	0	0	0,25	0
X <sub>14</sub>	0	0	0	0	0,56	1	0	0	0,23	0	0
X <sub>15</sub>	0,12	0	0	0	0	0	1	0	0	0,69	0,42
X <sub>16</sub>	0	0	0,57	0,68	0	0	0	1	0	0,36	0
Y <sub>3цсс</sub> (X <sub>17</sub> )	0	0	0,2	0	0	0,36	0	0	1	0	0
Y <sub>4всс</sub> (X <sub>18</sub> )	0	0	0	0	0,09	0	-0,46	-0,53	0	1	0
Y <sub>5влсс</sub> (X <sub>19</sub> )	0	0	0	0,61	0	0	0,75	0	0	0	1

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

$$Y_{3ц} = 0,2 X_{13} + 0,36 X_{14} \quad (3.8)$$

$$Y_{4в} = 0,09 X_{13} - 0,46 X_{15} - 0,53 X_{16} \quad (3.9)$$

$$Y_{5вл} = 0,61 X_{12} + 0,75 X_{15} \quad (3.10)$$

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. Подробные расчеты и все полученные приведены в наших статьях [21, 22].

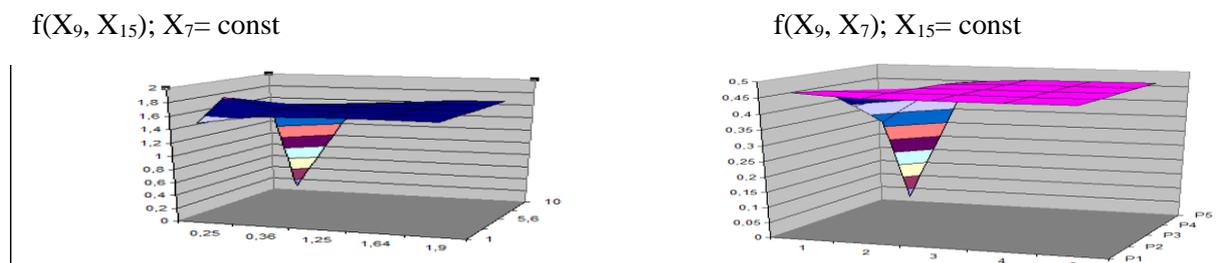


Рисунок 3.6. Пример полученных графиков зависимости выходного параметра при меняющихся  $X_9$ ,  $X_7$ ,  $X_{15}$  и постоянном либо  $X_7$ , либо  $X_{15}$

### 3.3.2.3. ПММ процесса приготовления карамельного сиропа

На рисунке 3.7. представлена параметрическую модель процесса приготовления карамельного сиропа [20, 21].

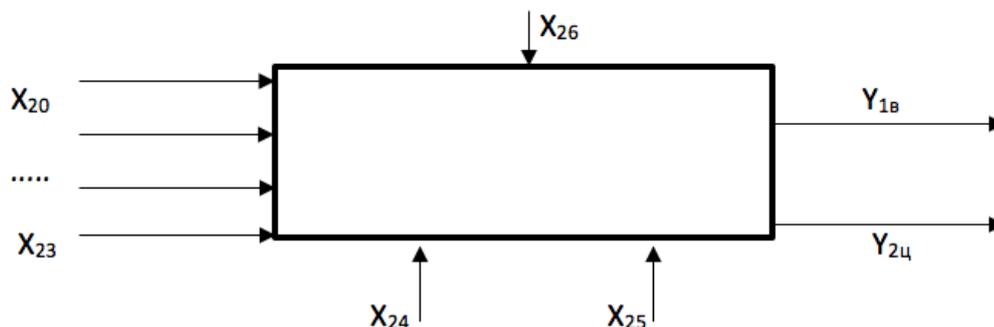


Рисунок 3.7. Параметрическая модель процесса приготовления карамельного сиропа

Таблица 3.13

Преобразованная матрица коэффициентов корреляции

	$X_{20}$	$X_{21}$	$X_{22}$	$X_{23}$	$X_{24}$	$X_{25}$	$X_{26}$	$Y_{6впс}(X_{27})$	$Y_{7цпс}(X_{28})$
$X_{20}$	1	0	0	0	0,321	0,958	0	0	0
$X_{21}$	0	1	0	0	0,669	0,552	0,871	0	0
$X_{22}$	0	0	1	0	0	0	0	0,985	0
$X_{23}$	0	0	0	1	0	0	0	0,671	0
$X_{24}$	0	0,669	0	0	1	0	0,998	0	0
$X_{25}$	0,958	0,552	0	0	0	1	0	0	0,866
$X_{26}$	0,587	0,871	0	0	0,998	0	1	0,744	0,902
$Y_{6впс}(X_{27})$	0	0	0,985	0,671	0	0	0,744	1	0
$Y_{7цпс}(X_{28})$	0	0	0	0	0	0,866	0,902	0	1

Таблица 3.14 - Регрессионная матрица связей

	X <sub>20</sub>	X <sub>21</sub>	X <sub>22</sub>	X <sub>23</sub>	X <sub>24</sub>	X <sub>25</sub>	X <sub>26</sub>	Y <sub>6впс</sub> (X <sub>27</sub> )	Y <sub>7цпс</sub> (X <sub>28</sub> )
X <sub>20</sub>	1	0	0	0	0,71	0,64	0	0	0
X <sub>21</sub>	0	1	0	0	0,49	0,31	0,78	0	0
X <sub>22</sub>	0	0	1	0	0	0	0	0,42	0
X <sub>23</sub>	0	0	0	1	0	0	0	0,52	0
X <sub>24</sub>	0	0,57	0	0	1	0	0,9	0	0
X <sub>25</sub>	0,86	0,46	0	0	0	1	0	0	0,67
X <sub>26</sub>	0,59	0,81	0	0	0,89	0	1	0,55	0,71
Y <sub>6впс</sub> (X <sub>27</sub> )	0	0	0,91	0,62	0	0	0,65	1	0
Y <sub>7цпс</sub> (X <sub>28</sub> )	0	0	0	0	0	0,8	0,81	0	1

Таблица 3.15 - Матрица безразмерных характеристик связей

	X <sub>20</sub>	X <sub>21</sub>	X <sub>22</sub>	X <sub>23</sub>	X <sub>24</sub>	X <sub>25</sub>	X <sub>26</sub>	Y <sub>6впс</sub> (X <sub>27</sub> )	Y <sub>7цпс</sub> (X <sub>28</sub> )
X <sub>20</sub>	1	0	0	0	0,44	0,59	0	0	0
X <sub>21</sub>	0	1	0	0	0,38	0,26	0,37	0	0
X <sub>22</sub>	0	0	1	0	0	0	0	0,18	0
X <sub>23</sub>	0	0	0	1	0	0	0	0,51	0
X <sub>24</sub>	0	0,52	0	0	1	0	0,66	0	0
X <sub>25</sub>	0,34	0,41	0	0	0	1	0	0	0,61
X <sub>26</sub>	0,52	0,76	0	0	0,5	0	1	0,22	0,48
Y <sub>6впс</sub> (X <sub>27</sub> )	0	0	0,36	0,57	0	0	0,51	1	0
Y <sub>7цпс</sub> (X <sub>28</sub> )	0	0	0	0	0	0,75	0,39	0	1

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

$$Y_{6в} = 0,36 X_{22} + 0,57 X_{23} + 0,51 X_{26} \quad (3.11)$$

$$Y_{7ц} = 0,75 X_{25} + 0,39 X_{26} \quad (3.12)$$

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 (значение критерия Фишера расчетное больше критерия Фишера теоретического в  $\approx 10$  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 полученных при

этом наглядных графиков при  $f(X_{20}, X_{23}); X_{25} = \text{const}$  для их анализа представлены на рисунке 3.8. Подробные расчеты и все графики приведены в наших статьях [18 - 26].

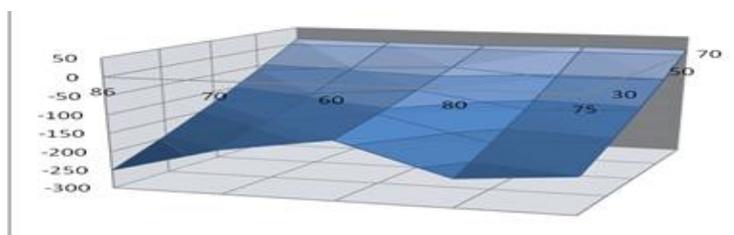


Рисунок 3.8. Графики зависимости выходного параметра  $Y_{6впс}$  при меняющихся  $X_{20}, X_{23}$  и постоянном либо  $X_{25}$

### 3.3.2.4. ПММ процесса сбивания карамельных масс

На рисунке 3.9. показана разработанная параметрическая модель сбивания карамельных масс, предназначенных для производства халвы.

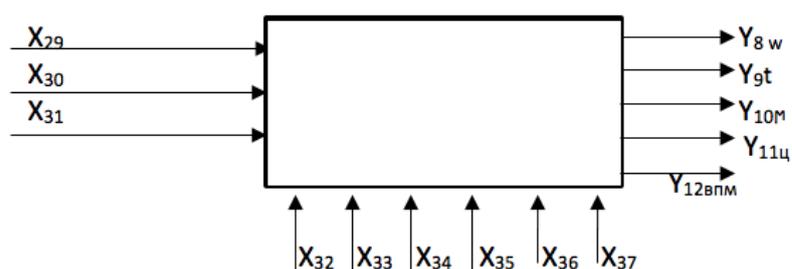


Рисунок 3.9. Структурно- параметрическая модель процесса сбивания карамельных масс

Таблица 3.16 - Преобразованная матрица коэффициентов корреляции

	$X_{29}$	$X_{30}$	$X_{31}$	$X_{32}$	$X_{33}$	$X_{34}$	$X_{35}$	$X_{36}$	$X_{37}$	$Y_{8впм}$ ( $X_{38}$ )	$Y_{9т}$ м ( $X_{39}$ )	$Y_{10м}$ м ( $X_{40}$ )	$Y_{11цпм}$ ( $X_{41}$ )	$Y_{12вп}$ м ( $X_{42}$ )
$X_{29}$	1	0	0	0	0,63 2	0,85 6	0	0	0	0,62 0	0	0	0	0
$X_{30}$	0	1	0	0,632	0,88 7	0	0	0	0	0	0	0,716	0	0
$X_{31}$	0	0	1	0,633	0	0	0	0	0,56 7	0	0	0	0,831	0
$X_{32}$	0	0,63 2	0,63 3	1	0,772	0	0	0	0,61 2	0	0	0	0	0,869
$X_{33}$	0,63 2	0,88 7	0	0,77 2	1	0	0,73 6	0	0	0,82 0	0,631	0	0	0
$X_{34}$	0,85 6	0	0	0	0	1	0,55 5	0	0,96 3	0	0	0,622	0	0,551
$X_{35}$	0	0	0	0	0,736	0,555	1	0	0,61 2	0	0,607	0	0	0
$X_{36}$	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0,885	0,741	0	0

Продолжение таблицы 3.16

	X <sub>29</sub>	X <sub>30</sub>	X <sub>31</sub>	X <sub>32</sub>	X <sub>33</sub>	X <sub>34</sub>	X <sub>35</sub>	X <sub>36</sub>	X <sub>37</sub>	Y <sub>8ВПМ</sub> (X <sub>38</sub> )	Y <sub>9ТП</sub> М (X <sub>39</sub> )	Y <sub>10МП</sub> М (X <sub>40</sub> )	Y <sub>11ЦПМ</sub> (X <sub>41</sub> )	Y <sub>12ВП</sub> М (X <sub>42</sub> )
X <sub>37</sub>	0	0	0,56 7	0,612	0	0,963	0,61 2	0	1	0	0	0	0,936	0
Y <sub>8ВПМ</sub> (X <sub>38</sub> )	0,62 0	0	0	0	0,820	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Y <sub>9ТПМ</sub> (X <sub>39</sub> )	0	0	0	0	0,631	0	0,60 7	0,88 5	0	0	1	0	0	0
Y <sub>10МПМ</sub> (X <sub>40</sub> )	0	0,71 6	0	0	0	0,622	0	0,74 1	0	0	0	1	0	0
Y <sub>11ЦПМ</sub> (X <sub>41</sub> )	0	0	0,83 1	0	0	0	0	0	0,93 6	0	0	0	1	0
Y <sub>12ВПМ</sub> (X <sub>42</sub> )	0	0	0	0,869	0	0,551	0	0	0	0	0	0	0	1

Таблица 3.17 - Регрессионная матрица связей

	X <sub>29</sub>	X <sub>30</sub>	X <sub>31</sub>	X <sub>32</sub>	X <sub>33</sub>	X <sub>34</sub>	X <sub>35</sub>	X <sub>36</sub>	X <sub>37</sub>	Y <sub>8ВПМ</sub> (X <sub>38</sub> )	Y <sub>9ТПМ</sub> (X <sub>39</sub> )	Y <sub>10МПМ</sub> (X <sub>40</sub> )	Y <sub>11ЦПМ</sub> (X <sub>41</sub> )	Y <sub>12ВПМ</sub> (X <sub>42</sub> )
X <sub>29</sub>	1	0	0	0	0,78	0,55	0	0	0	0,81	0	0	0	0
X <sub>30</sub>	0	1	0	0,32	0,18	0	0	0	0	0	0	0,58	0	0
X <sub>31</sub>	0	0	1	0,72	0	0	0	0	0,16	0	0	0	0,13	0
X <sub>32</sub>	0	0,38	0,56	1	0,21	0	0	0	0,67	0	0	0	0	0,15
X <sub>33</sub>	0,14	0,71	0	0,86	1	0	0,71	0	0	0,66	0,81	0	0	0
X <sub>34</sub>	0,56	0	0	0	0	1	0,51	0	0,39	0	0	0,52	0	0,71
X <sub>35</sub>	0	0	0	0	0,8	0,59	1	0	0,85	0	0,45	0	0	0
X <sub>36</sub>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0,31	0,31	0	0
X <sub>37</sub>	0	0	0,83	0,41	0	0,26	0,607	0	1	0	0	0	0,27	0
Y <sub>8ВПМ</sub> (X <sub>38</sub> )	0,58	0	0	0	0,61	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Y <sub>9ТПМ</sub> (X <sub>39</sub> )	0	0	0	0	0,85	0	0,78	0,52	0	0	1	0	0	0
Y <sub>10МПМ</sub> (X <sub>40</sub> )	0	0,63	0	0	0	0,51	0	0,69	0	0	0	1	0	0
Y <sub>11ЦПМ</sub> (X <sub>41</sub> )	0	0	0,63	0	0	0	0	0	0,936	0	0	0	1	0
Y <sub>12ВПМ</sub> (X <sub>42</sub> )	0	0	0	0,62	0	0,36	0	0	0	0	0	0	0	1

Таблица 3.18 - Матрица безразмерных характеристик связей

X <sub>29</sub>	X <sub>30</sub>	X <sub>31</sub>	X <sub>32</sub>	X <sub>33</sub>	X <sub>34</sub>	X <sub>35</sub>	X <sub>36</sub>	X <sub>37</sub>	Y <sub>8ВПМ</sub> (X <sub>38</sub> )	Y <sub>9ТПМ</sub> (X <sub>39</sub> )	Y <sub>10МПМ</sub> (X <sub>40</sub> )	Y <sub>11ЦПМ</sub> (X <sub>41</sub> )	Y <sub>12ВПМ</sub> (X <sub>42</sub> )	X <sub>29</sub>
X <sub>29</sub>	1	0	0	0	0,60	0,73	0	0	0	0,81	0	0	0	0
X <sub>30</sub>	0	1	0	0,22	0,12	0	0	0	0	0	0	0,58	0	0
X <sub>31</sub>	0	0	1	0,54	0	0	0	0	0,16	0	0	0	0,13	0
X <sub>32</sub>	0	0,65	0,19	1	0,37	0	0	0	0,67	0	0	0	0	0,15
X <sub>33</sub>	0,54	0,35	0	0,39	1	0	0,71	0	0	0,66	0,81	0	0	0
X <sub>34</sub>	0,23	0	0	0	0	1	0,51	0	0,39	0	0	0,52	0	0,71
X <sub>35</sub>	0	0	0	0	0,76	0,59	1	0	0,85	0	0,45	0	0	0

Продолжение таблицы 3.18

$X_{29}$	$X_{30}$	$X_{31}$	$X_{32}$	$X_{33}$	$X_{34}$	$X_{35}$	$X_{36}$	$X_{37}$	$Y_{8\text{впм}}$ ( $X_{38}$ )	$Y_{9\text{тпм}}$ ( $X_{39}$ )	$Y_{10\text{мпм}}$ ( $X_{40}$ )	$Y_{11\text{цпм}}$ ( $X_{41}$ )	$Y_{12\text{впм}}$ ( $X_{42}$ )	$X_{29}$
$X_{36}$	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0,31	0,31	0	0
$X_{37}$	0	0	0,28	0,86	0	0,26	0,607	0	1	0	0	0	0,27	0
$Y_{8\text{впм}}$ ( $X_{38}$ )	0,33	0	0	0	0,83	0	0	0	0	1	0	0	0	0
$Y_{9\text{тпм}}$ ( $X_{39}$ )	0	0	0	0	0,29	0	0,78	0,52	0	0	1	0	0	0
$Y_{10\text{мпм}}$ ( $X_{40}$ )	0	0,43	0	0	0	0,51	0	0,69	0	0	0	1	0	0
$Y_{11\text{цпм}}$ ( $X_{41}$ )	0	0	0,84	0	0	0	0	0	0,42	0	0	0	1	0
$Y_{12\text{впм}}$ ( $X_{42}$ )	0	0	0	0,41	0	0,36	0	0	0	0	0	0	0	1

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

$$Y_{8\text{в}}(X_{38}) = 0,33 X_{29} + 0,83 X_{33} \quad (3.13)$$

$$Y_{9\text{т}}(X_{39}) = 0,29 X_{33} + 0,78 X_{35} + 0,52 X_{36} \quad (3.14)$$

$$Y_{10\text{м}}(X_{40}) = 0,43 X_{30} + 0,51 X_{34} + 0,69 X_{36} \quad (3.15)$$

$$Y_{11\text{ц}}(X_{41}) = 0,84 X_{31} + 0,42 X_{37} \quad (3.16)$$

$$Y_{12\text{в}}(X_{42}) = 0,41 X_{32} + 0,36 X_{34} \quad (3.17)$$

Полученные результаты зависимости между выходными параметрами и переменными входными параметрами были представлены в виде наглядных графиков для их анализа (часть приведена на рисунке 3.10) и описаны в наших работах [20 – 26].

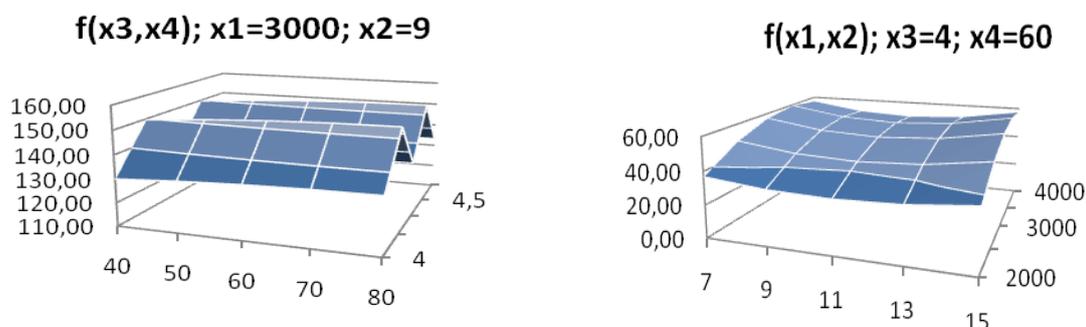


Рисунок 3.10. Графики зависимости выходного параметра  $Y_{12\text{впм}}$  при двух меняющихся входных параметрах  $X_i$  и одном постоянном параметре  $X_{i_п}$ .

### 3.3.2.5. ПММ процесса вымешивания массы халвы

На рисунке 3.11 показана параметрическая модель процесса вымешивания массы халвы.

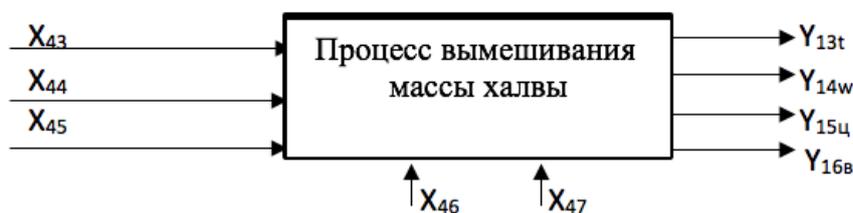


Рисунок 3.11. Параметрическая модель процесса вымешивания массы халвы

Таблица 3.19 - Преобразованная матрица коэффициентов корреляции

	$X_{43}$	$X_{44}$	$X_{45}$	$X_{46}$	$X_{47}$	$Y_{13ткм} (X_{48})$	$Y_{14вкм} (X_{49})$	$Y_{15цкм} (X_{50})$	$Y_{16вкм} (X_{51})$
$X_{43}$	1	0	0	0	0	0	0,652	0,744	0
$X_{44}$	0	1	0	0,663	0,742	0,821	0	0	0
$X_{45}$	0	0	1	0,661	0	0	0	0	0,694
$X_{46}$	0	0,663	0,661	1	0,855	0,871	0	0	0,747
$X_{47}$	0	0,742	0	0,855	1	0	0,636	0,521	0
$Y_{13ткм} (X_{48})$	0	0,821	0	0,871	0	1	0	0	0
$Y_{14вкм} (X_{49})$	0,652	0	0	0	0,636	0	1	0	0
$Y_{15цкм} (X_{50})$	0,744	0	0	0	0,521	0	0	1	0
$Y_{16вкм} (X_{51})$	0	0	0,694	0,747	0	0	0	0	1

Таблица 3.20 - Регрессионная матрица связей

	$X_{43}$	$X_{44}$	$X_{45}$	$X_{46}$	$X_{47}$	$Y_{13ткм} (X_{48})$	$Y_{14вкм} (X_{49})$	$Y_{15цкм} (X_{50})$	$Y_{16вкм} (X_{51})$
$X_{43}$	1	0	0	0	0	0	0,49	0,25	0
$X_{44}$	0	1	0	0,23	0,26	0,21	0	0	0
$X_{45}$	0	0	1	0,57	0	0	0	0	0,36
$X_{46}$	0	0,72	0,46	1	0,63	0,52	0	0	0,43
$X_{47}$	0	0,81	0	0,38	1	0	0,44	0,64	0
$Y_{13ткм} (X_{48})$	0	0,66	0	0,17	0	1	0	0	0
$Y_{14вкм} (X_{49})$	0,75	0	0	0	0,52	0	1	0	0
$Y_{15цкм} (X_{50})$	0,64	0	0	0	0,28	0	0	1	0
$Y_{16вкм} (X_{51})$	0	0	0,14	0,36	0	0	0	0	1

Таблица 3.21 - Матрица безразмерных характеристик связей

	$X_{43}$	$X_{44}$	$X_{45}$	$X_{46}$	$X_{47}$	$Y_{13ткм} (X_{48})$	$Y_{14вкм} (X_{49})$	$Y_{15цкм} (X_{50})$	$Y_{16вкм} (X_{51})$
$X_{43}$	1	0	0	0	0	0	0,44	0,20	0
$X_{44}$	0	1	0	0,18	0,21	0,26	0	0	0

Продолжение таблицы 3.21

$X_{45}$	0	0	1	0,52	0	0	0	0	0,31
$X_{46}$	0	0,67	0,41	1	0,58	0,47	0	0	0,38
$X_{47}$	0	0,76	0	0,33	1	0	0,39	0,59	0
$Y_{13ткм} (X_{48})$	0	0,61	0	0,12	0	1	0	0	0
$Y_{14вкм} (X_{49})$	0,69	0	0	0	0,42	0	1	0	0
$Y_{15цкм} (X_{50})$	0,58	0	0	0	0,23	0	0	1	0
$Y_{16вкм} (X_{51})$	0	0	0,19	0,31	0	0	0	0	1

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

$$Y_{13t} (X_{48}) = 0,61 X_{44} + 0,12 X_{46} \quad (3.18)$$

$$Y_{14w} (X_{49}) = 0,69 X_{43} + 0,42 X_{47} \quad (3.19)$$

$$Y_{15ц} (X_{50}) = 0,58 X_{43} + 0,23 X_{47} \quad (3.20)$$

$$Y_{16в} (X_{51}) = 0,19 X_{45} + 0,31 X_{46} \quad (3.21)$$

Часть полученных при этом наглядных графиков для представлены на рисунке 3.12. Подробно полученные результаты описаны в наших работах [19 – 26].

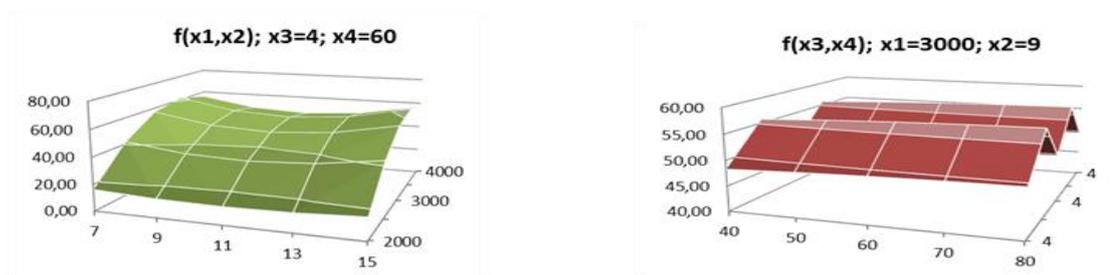


Рисунок 3.12. Графики зависимости выходного параметра  $Y_{16вкм} (X_{51})$  при двух меняющихся входных параметрах  $X_i$  и постоянном одном входном параметре

### 3.3.2.6. ПММ процесса формования корпусов конфет халвы

На рисунке 3.13. представлена параметрическую модель процесса формования халвы.

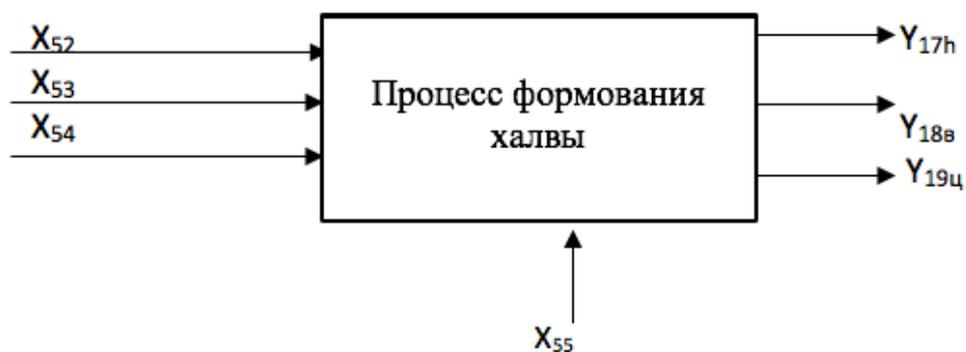


Рисунок 3.13. Параметрическая модель процесса формирования халвы

Таблица 3.22 Преобразованная матрица коэффициентов корреляции

	$X_{52}$	$X_{53}$	$X_{54}$	$X_{55}$	$Y_{17hфм} (X_{56})$	$Y_{18вфм} (X_{57})$	$Y_{19цфм} (X_{58})$
$X_{52}$	1	0	0	0,570	0	0	0
$X_{53}$	0	1	0	0	0	0	0,588
$X_{54}$	0	0	1	0	0	0,813	0
$X_{55}$	0,570	0	0	1	0,758	0	0
$Y_{17hфм} (X_{56})$	0	0	0	0,758	1	0	0
$Y_{18вфм} (X_{57})$	0	0	0,813	0	0	1	0
$Y_{19цфм} (X_{58})$	0	0,588	0	0	0	0	1

Таблица 3.23- Регрессионная матрица связей

	$X_{52}$	$X_{53}$	$X_{54}$	$X_{55}$	$Y_{17hфм} (X_{56})$	$Y_{18вфм} (X_{57})$	$Y_{19цфм} (X_{58})$
$X_{52}$	1	0	0	0,11	0	0	0
$X_{53}$	0	1	0	0	0	0	0,63
$X_{54}$	0	0	1	0	0	0,19	0
$X_{55}$	0,23	0	0	1	0,62	0	0
$Y_{17hфм} (X_{56})$	0	0	0	0,37	1	0	0
$Y_{18вфм} (X_{57})$	0	0	0,78	0	0	1	0
$Y_{19цфм} (X_{58})$	0	0,51	0	0	0	0	1

Таблица 3.24 - Матрица безразмерных характеристик связей

	$X_{52}$	$X_{53}$	$X_{54}$	$X_{55}$	$Y_{17hфм} (X_{56})$	$Y_{18вфм} (X_{57})$	$Y_{19цфм} (X_{58})$
$X_{52}$	1	0	0	0,27	0	0	0
$X_{53}$	0	1	0	0	0	0	0,59
$X_{54}$	0	0	1	0	0	0,37	0
$X_{55}$	0,54	0	0	1	0,28	0	0
$Y_{17hфм} (X_{56})$	0	0	0	0,29	1	0	0
$Y_{18вфм} (X_{57})$	0	0	0,45	0	0	1	0
$Y_{19цфм} (X_{58})$	0	0,28	0	0	0	0	1

На основании проведенных расчетов получены математические модели процесса формования халвы:

$$Y_{17h}(X_{56}) = 0,29 X_{55} \quad (3.22)$$

$$Y_{18e}(X_{57}) = 0,45 X_{54} \quad (3.23)$$

$$Y_{19y}(X_{58}) = 0,28 X_{53} \quad (3.24)$$

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 3.14. Подробно полученные результаты описаны в наших работах [19 – 26].

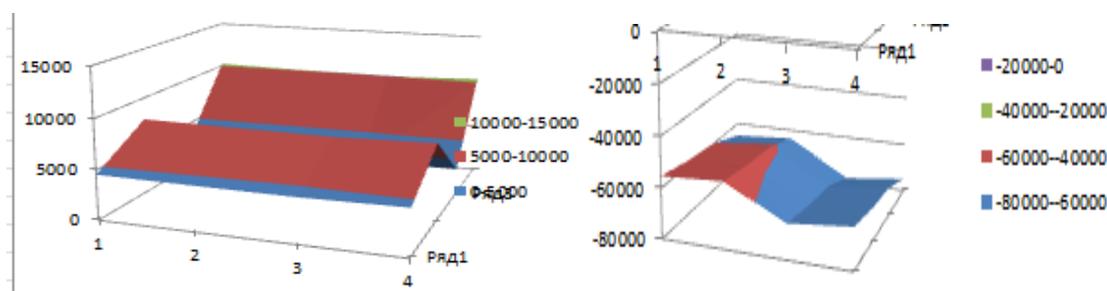


Рисунок 3.14. Графики зависимости выходного параметра  $Y_{18\text{ вфм}}$  при одном постоянном входном параметре  $X_{i_n}$  и меняющихся остальных входных параметрах  $X_i$ .

### 3.4. Ситуационное моделирование ТП производства халвы

На основании результатов проведенных исследований были разработаны ситуационные модели всех стадий ТП производства халвы с указанием наличия связи между исследуемыми показателями качества сырья, полуфабрикатов и готовых конфет халвы (таблицы 3.1. – 3.6).

На основе разработанных параметрических и математических моделей сопоставимых взаимосвязей  $C_{i,j}$ , где  $i,j=1,n$  (таблицы 3.1. – 3.6), и вектора контролируемых отклонений показателей состояния  $\Delta x_i$  была получена ситуационная модель процесса производства халвы:

$$\left\| \begin{array}{cccc} \Delta x_1, & c_{12}\Delta x_2, & \dots, & c_{1n}\Delta x_n \\ c_{21}\Delta x_1, & \Delta x_2, & \dots, & c_{2n}\Delta x_n \\ \dots, & \dots, & \dots, & \dots \\ c_{n1}\Delta x_1, & c_{n2}\Delta x_2, & \dots, & \Delta x_n \end{array} \right\| \quad (3.25)$$

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

$x_i, x_j^0$  – фактическое и эталонное значение  $i$ -го параметра;

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

Элементы главной диагонали матрицы (3.25) отображают текущее отклонение наблюдаемых факторов от заданных значений, не диагональные – составляющие их отклонения с упорядочиванием по строкам всех причин отклонения, а по столбцам - возможные следственные влияния на другие параметры. Ситуационная матричная модель дает возможность проследить причинно -следственные влияния параметров друг на друга и показатели качества готовой халвы с формализацией алгоритмов диагностики и прогнозирования состояний технологического процесса и качества продукта.

Полученные данные экспериментального исследования ТП производства халвы (раздел 3.2.2) были сравнены с данными, полученными в результате опроса экспертов (раздел.3.1). В таблице 3.25 представлена разработанная обобщенная матрица функциональных связей показателей качества халвы в форме квадратной матрицы взаимосвязей (ситуационная модель ТП производства халвы), где числовые значения, записанные обычным курсивом показывают характер связей («+» - показывают нахождение новых связей, а символ ( $\emptyset$ ) означает опровержение оценок эксперта).

Предлагаемая процедура диагноза сводилась к нахождению причин, повлекших за собой отклонение состояния технологической системы от нормального состояния, 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. В таблице 3.25 представлена ситуационная модель процессов всего производства халвы.

Разработанные модели и алгоритмы показали свою эффективность и обоснованность, что позволили перейти к разработке функциональных схем автоматизации и управления с использованием интеллектуальных технологий.

Таблица 3.25 - Ситуационная модель процессов всего 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 <sub>1</sub> (X <sub>7</sub> )	Y <sub>2</sub> (X <sub>8</sub> )	Y <sub>3</sub> (X <sub>17</sub> )	Y <sub>4</sub> (X <sub>18</sub> )	Y <sub>5</sub> (X <sub>19</sub> )	Y <sub>6</sub> (X <sub>27</sub> )	Y <sub>7</sub> (X <sub>28</sub> )	Y <sub>8</sub> (X <sub>32</sub> )	Y <sub>9</sub> (X <sub>33</sub> )	Y <sub>10</sub> (X <sub>40</sub> )	Y <sub>11</sub> (X <sub>41</sub> )	Y <sub>12</sub> (X <sub>42</sub> )	Y <sub>13</sub> (X <sub>43</sub> )	Y <sub>14</sub> (X <sub>46</sub> )	Y <sub>15</sub> (X <sub>50</sub> )	Y <sub>16</sub> (X <sub>51</sub> )	Y <sub>17</sub> (X <sub>56</sub> )	Y <sub>18</sub> (X <sub>57</sub> )	Y <sub>19</sub> (X <sub>58</sub> )
I. Подготовка сырья к производству	Y <sub>1</sub> (X <sub>7</sub> ) - % извл. прим	1	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙													
	Y <sub>2</sub> (X <sub>8</sub> ) вн. вид	∅	1	⊙	⊙	⊙	⊕													
II. Приготовление сахарного сиропа	Y <sub>3</sub> (X <sub>17</sub> ) цвет	⊙	∅	1	⊕	⊙	⊕	⊕												
	Y <sub>4</sub> (X <sub>18</sub> ) вкус			∅	1	⊙	⊕	⊕												
	Y <sub>5</sub> (X <sub>19</sub> ) влажность	⊕	⊙	⊕	⊙	1	⊕	⊕	⊙	⊙										
III. Приготовление карамельного сиропа	Y <sub>6</sub> (X <sub>27</sub> ) цвет	⊙	⊕	⊕	⊙	⊙	1	∅	⊕	⊕										
	Y <sub>7</sub> (X <sub>28</sub> ) вкус	⊙	⊙	⊕	⊙	⊙	⊕	1	⊙		⊕									
IV. Уваривание и сбивание карамельной массы	Y <sub>8</sub> (X <sub>32</sub> ) влажность кар. м.	⊙	⊕	⊕	⊙		∅	⊕	1	⊙	⊙									
	Y <sub>9</sub> (X <sub>33</sub> ) Т						∅	⊙	⊙	1	∅	⊙	⊙	⊙	⊙					
	Y <sub>10</sub> (X <sub>40</sub> ) вязкость							⊙	∅	⊕	1	⊙	⊙	∅	⊙	⊙				
	Y <sub>11</sub> (X <sub>41</sub> ) цвет							⊕	⊕	⊙	⊙	1	⊕	∅	⊙	⊙				
V. Вымешивание халвы	Y <sub>12</sub> (X <sub>42</sub> ) вкус	⊙	⊙	⊕	⊙	⊕	⊕	⊕	⊕	⊙	∅	1	⊙	⊕	∅					
	Y <sub>13</sub> (X <sub>43</sub> ) температура	⊙	⊕	⊕	⊙	⊙	⊕	⊙	⊕	⊙		⊕	⊙	1	⊙	⊕	⊙			
	Y <sub>14</sub> (X <sub>46</sub> ) влажность	⊕	⊙	⊙	⊙	⊕	⊕		⊙	⊙	⊙	⊙	⊕	⊙	1	⊕	⊕			
	Y <sub>15</sub> (X <sub>50</sub> ) цвет	⊙	⊙	∅	⊙	⊕	⊕	⊙				⊕	∅	⊕	1	⊙	⊕			
VI. Формование халвы	Y <sub>16</sub> (X <sub>51</sub> ) вкус	⊙	⊙	⊕	⊙	∅	⊕							⊙	⊕	1	⊕	∅		
	Y <sub>17</sub> (X <sub>56</sub> ) высота халвы	⊙	⊕	⊕	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	∅	⊙	⊙	⊙	1	⊕	⊙	
	Y <sub>18</sub> (X <sub>57</sub> ) вкус	⊙	⊕	⊙	⊕	⊙	⊕	⊙	⊕	⊙	⊙	⊕	⊕	⊙	⊕	⊕	⊕	1	⊕	
Y <sub>19</sub> (X <sub>58</sub> ) цвет	⊙	⊙	⊕	⊙	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	∅	⊕	⊙	⊕	⊕	1	

### 3.5. Выводы по 3 главе

Проведен анализ ТП производства халвы методом мультиагентного имитационного моделирования с использованием ПО AnyLogic,

Разработана имитационная модель всего процесса производства халвы, а также модель производства халвы в виде двумерной графики.

Проведено исследования и выбор параметров, оказывающих наибольшее влияние на качество сырья, полуфабрикатов и готовой халвы на всех этапах процесса производства халвы.

Выполнено структурно – параметрическое моделирование и разработаны параметрические модели всех этапов производства халвы.

Разработана ситуационная модель качества каждого этапов производства халвы и на основе анализа полученных результатов разработана ситуационная модель процессов всего производства халвы.

Выбраны основные технологические и режимные параметры, оказывающих значительное влияние на процессы производства халвы, что позволяет перейти к интеллектуальной автоматизированной системе управления качеством подсолнечной халвы, а также к разработке ФСА с использованием интеллектуальных технологий.

Полученные в данной главе имитационные, ситуационные, параметрические и математические модели всех этапов производства халвы являются основой создания интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы в процессе производства.

## **ГЛАВА 4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ КОНТРОЛЯ В ПОТОКЕ ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ХАЛВЫ И РАЗРАБОТКА НА ИХ БАЗЕ ФСА**

### **4.1. Постановка задачи автоматического контроля в потоке органолептических показателей качества халвы в процессе производства**

Линия производства халвы, как отмечалось ранее, является сложным технологическим объектом, характеризующимся большим количеством контролируемых параметров, различающихся по своей информативности и степени доступности. Процесс управления такими объектами характеризуется либо принятием решений в условиях высокой степени неопределённости, либо требует значительных затрат материальных и временных ресурсов с целью снижения неопределенности, а, следовательно, повышения эффективности принимаемых решений.

Поэтому формирование интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы является сложной нетривиальной задачей. Необходимо учитывать влияние многих факторов, а также неопределенностей при анализе количественных и качественных характеристик сырья, полуфабрикатов и готовой продукции при производстве халвы [25]. Неопределенность, присущая слабо формализуемым ТП производства халвы обусловлена невозможностью определения качества сырья и готовых конфет халвы традиционными способами. Оператор в настоящее время оценивает качество сырья и готовых конфет халвы органолептическими методами. В этих условиях, из-за отсутствия механизма использования полученной информации о ходе процесса производства халвы и изменениях при этом показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых кондитерских изделий традиционные регуляторы в этих условиях не применимы.

Таким образом, качество готовой халвы, представляющее собой комплексный показатель (глава 3), не определяется инструментальными

методами. Возмущающее воздействие также оценивается обычно оператором органолептическими методами. В качестве таких возмущений может выступать, например, качество исходного сырья (семян подсолнечника).

В связи с функционированием производства в условиях невозможности измерения качества сырья (входной координаты) и качества готовой продукции (выходной координаты) в потоке традиционными средствами сформулируем первую задачу для разработки интеллектуальной системы управления качеством: *автоматизация контроля в потоке органолептических показателей качества семян подсолнечника, полуфабрикатов и готовой халвы с применением методов и технологий искусственного интеллекта.*

Процесс производства халвы не стационарен. Если не имеется математической модели всех этапов данного производства, учет изменений характеристик исследуемого объекта является достаточно сложной задачей. Поэтому *следующая задача* — учет свойств не стационарности линии производства халвы.

Поэтому важной первостепенной задачей является разработка методов и способов автоматизации контроля органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых конфет халвы. И на этой основе создать автоматизированную систему управления качеством халвы на основе широкого использования наиболее эффективных интеллектуальных информационных технологий.

Как известно из наших исследований (п.1.2.2), одним из важнейших показателей качества сырья является коэффициент извлечения примеси в семенах подсолнечника, который в настоящее время анализируется и рассчитывается в лабораториях кондитерских предприятий. Вторым важным показателем качества семян подсолнечника является его внешний вид. Оперативный контроль данного показателя качества обычными средствами автоматизации также невозможен. Этот показатель определяется в настоящее время только в лабораторных условиях. В лабораториях кондитерских фабрик на

определение этих показателей затрачивается достаточно большое количество времени. И эти характеристики для управления процессом производства халвы перестают быть актуальными (эффект чистого запаздывания). В таких случаях оператор, основываясь на своем опыте, обеспечивает путем ручного управления работой сепараторов линии производства халвы, рациональный режим ведения процесса подготовки сырья.

Таким образом, также появляется задача автоматизации контроля в потоке и второго важного органолептического показателя качества сырья - внешнего вида семян подсолнечника, включающего следующие параметры: размер, цвет, состояние поверхности, целостность [19 – 25, 82, 89].

Автоматизация контроля приведенных органолептических показателей качества сырья дает возможность формализовать процесс производства халвы и использовать получаемые цифровые сигналы для целей управления.

Резюмируя вышесказанное, сформулируем задачу управления подобным слабо формализуемым процессом производства халвы: необходимо обеспечить заданное качество семян подсолнечника, полуфабрикатов и готовых конфет халвы. Выходной сигнал и возмущения при этом вместо вербального оценивания оператором будут контролировать в потоке интеллектуальные средства автоматизации.

#### **4.2. Разработка модуля (программно-аппаратного комплекса) автоматического контроля в потоке органолептических показателей качества сырья с использованием системы технического зрения**

Поставленная задача разработки методов и средств автоматизации контроля в потоке коэффициента извлечения примесей и внешнего вида семян подсолнечника решалась с использованием СТЗ [30, 89].

Техническое 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.

Системы технического зрения (СТЗ) 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 СТЗ, типичные для многих систем технического зрения [89, 90, 103].

#### *Компоненты СТЗ.*

Основными компонентами технического 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.

#### *Применение СТЗ:*

1. Системы анализа изображений.
2. Сортировка, поиск брака и другие операции в серийном производстве.
3. Технологии дополненной и виртуальной реальности.
4. Системы геопозиционирования и картографические системы.
5. Системы контроля качества деталей, изделий, продуктов.
6. Чтение штрих кодов в промышленных предприятиях, торговле и на складских комплексах.
7. Конвертация бумажных книг и документов в цифровые форматы.

СТЗ 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. (Помимо индустрии развлечений, где эти технологии традиционно пользуются повышенным спросом, в гонку за потребителя включаются торговые центры, строительные компании, дизайнерские студии, сети магазинов по продаже предметов интерьера и одежды и др.).
- OCR (optical character recognition) — распознавание рукописного, печатного или машинописного текста.

Автоматизация контроля с использованием СТЗ обеспечивает практически 100% гарантию.

Таким образом, СТЗ обеспечивает множество различных преимуществ и его использование для автоматизации контроля в потоке коэффициента извлечения примесей повысит эффективность линии производства халвы.

#### ***4.2.1. Применение технического зрения для автоматизации контроля в потоке коэффициента извлечения примесей***

Анализ работ в области автоматизации контроля показал, что СТЗ 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. СТЗ использовались для автоматического контроля в потоке различных показателей качества пищевых продуктов (белизна муки, влажность творога, цвет сливочного масла, помадных конфет и др.) [6, 103, 104, 107].

Эффективность методов зависит от технического обеспечения системы компьютерного зрения, 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 пищевой продукции.

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

Проведенный нами обзор и анализ библиотек СТЗ 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 использования существующих библиотек СТЗ [89, 90], всесторонне рассмотрена возможность применения методов и шаблонов проектирования объектно-ориентированных языков программирования в СТЗ в качестве инструмента определения органолептических показателей качества сырья и готовой кондитерской продукции на примере производства подсолнечной халвы. Для автоматического контроля органолептических показателей использовалась автоматизированная СТЗ, установленная на линии производства подсолнечной халвы (рисунке 4.1).



Рисунок 4.1. Производство подсолнечной халвы с использованием СТЗ.

Для реализации такой СТЗ были проведены исследования по рациональному техническому обеспечению этой системы. Типовая СТЗ состоит из одной или нескольких, фото-или цифровых видеокамер (ЦВК), системы передачи данных в компьютер и компьютера для системы обработки данных [6, 19 – 26, 89].

Схема расположения основных компонентов типовой СТЗ представлена на рисунке 4.2. 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 технического зрения.

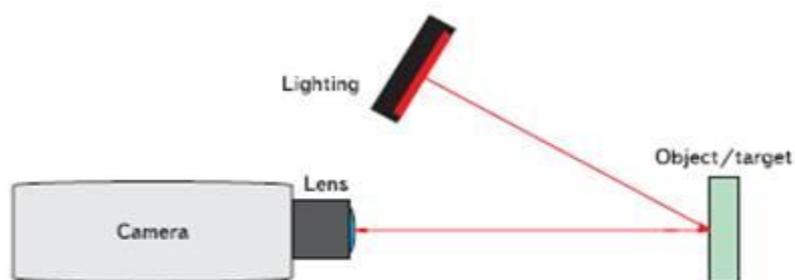


Рисунок 4.2. Основные компоненты типовой СТЗ

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 (Lightning на рисунке 4.2). Кроме этого при проведении исследований учитывались и другие различные параметры объективов.

Очень важна и программная составляющая СТЗ, а именно, программная архитектура обеспечения подготовки изображений к встроенные 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 экспозаписи (совокупность установленных значений диафрагмы и выдержки). Оба эти параметра влияют на экспозицию и на результат фотосъемки 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 СТЗ

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 СТЗ 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 СТЗ 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 СТЗ 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. Чаще всего это фиксированный диапазон, который имеет камера. Таким образом, камера с фиксированным диапазоном должна иметь инфракрасную подсветку с том же инфракрасном диапазоне. Преимущество инфракрасных камер состоит в том, что широкий инфракрасный диапазон способен снимать даже нагретые предметы, определять температуру объекта, а также улавливать и снимать в некотором диапазоне не видимые человеческому глазу дефекты продукции.

По результатам проведенных исследований [19 - 26, 82, 90] был сделан вывод, что на сегодняшний день применение СТЗ очень эффективно. И эти системы могут быть использованы в абсолютно любом пищевом 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 халвы 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. На рисунке 4.3 показана выбранная нами СКЗ фирмы Omron, серии FH. Данная серия включает в себя различные фотокамеры, которые различаются по техническим характеристикам, такими как – скорость съемки, разрешение кадра, светочувствительность, динамический диапазон и пр.



Рисунок 4.3. Выбранная системы компьютерного зрения фирмы Omron.

Проведенный нами анализ показал, что на текущий момент существует большое количество производителей СКЗ, что показывает присутствие здоровой конкуренции между фирмами на этом рынке. Поэтому можно выбрать наиболее рациональный вариант СКЗ под нужды именно своего производства.

Анализ полученных в процессе поведенных 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 пищевой 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 модуля автоматического контроля коэффициента извлечения примесей при подготовке сырья к производству халвы использовалось следующее оборудование: видеокамера SONY FDR-AX700, осветительные приборы - светодиодная панель Falcon Eyes Flat LED, штатив QZSD Q303, персональный компьютер, имеющий следующие характеристики, влияющие на производительность работы: процессор Intel Core i5-9600KF, оперативная память 8gb.

Предлагаемая к использованию в линии производства подсолнечной халвы видеокамера имеет следующие характеристики: максимальное разрешение матрицы 640x480 пикселей, максимальное количество кадров, производящееся в секунду – 187. Тестирование работы алгоритмов СТЗ 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. Основным принципом в работе данного языка является парадигма взаимодействия так называемых объектов, которые создаются как экземпляры классов. Класс в Java это своего рода «чертеж», из которого можно создать несколько объектов с различными параметрами. Создавая экземпляры определенного класса (которые являются объектами) необходимо проинициализировать данные поля. Все созданные экземпляры будут отличаться друг от друга и будут содержаться в разных ячейках памяти, за исключением экземпляров, значения полей которых одинаковое.

При разработке программы для автоматического контроля в потоке коэффициента извлечения примесей при сепарировании семян подсолнечника (рисунок 4.4) использовалась библиотека OpenCV (Open Computer Vision). В данной библиотеке ключевым используемым классом был класс Mat, который является трехмерной матрицей с большим количеством дополнительных параметров.

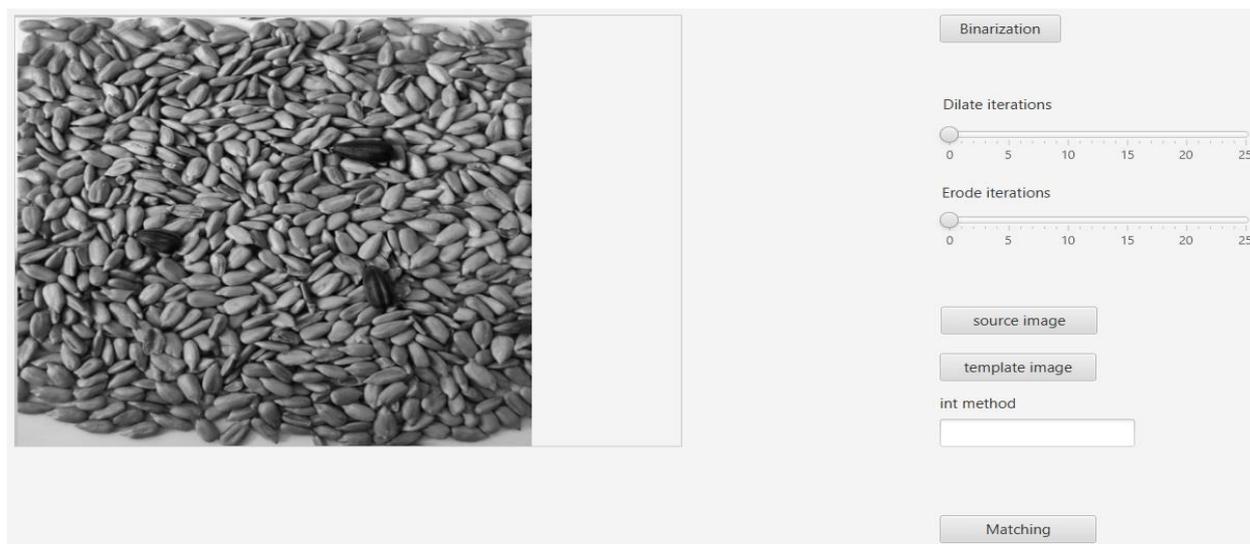


Рисунок 4.4. Фрагмент программы для обработки изображения

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 объектов, которые в Java представлены экземплярами классов, имеются также «методы», которые в аналогичных языках программирования обозначаются как функции. Все методы в Java оперируют экземплярами классов. Метод doBinarization использует локальные ссылки на экземпляры классов: *private Mat imgL, imgR, colorBlueRed, imgLeftResized, imgRightResised, debugImgL, debugImgR, sunImage, binImage.*

Данный код содержится в классе контроллера, в котором происходит основная логика работы программы, без учета отрисовки интерфейса, но при взаимодействии с ним. Внутри класса контроллера имеется строка, которая объявляет переменные типа Mat, а приставка private означает, что данные ссылки

на переменные можно использовать только в конкретном экземпляре определенного класса контроллера.

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 ползунка 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, т.к. дальнейшие действия будут связаны с изменением клона изображения. 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. Важно заметить, что это является главной трудностью использования данного алгоритма, так как в зависимости от требуемого результата нужно находить оптимальные пороговые значения.

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 прочего информационного мусора. Результат работы алгоритма бинаризации представлен на рисунке 4.5.



Рисунок 4.5. Бинаризация изображения

После оптимального подбора пороговых значений бинаризации были выполнены операции размывания (erode) и растягивания (dilate). Результат работы данных алгоритмов представлен на рисунке 4.6.



Рисунок. 4.6. Результат применения методов Erode и Dilate.

Как видно на рисунке 4.6 – 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 4.7). 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.

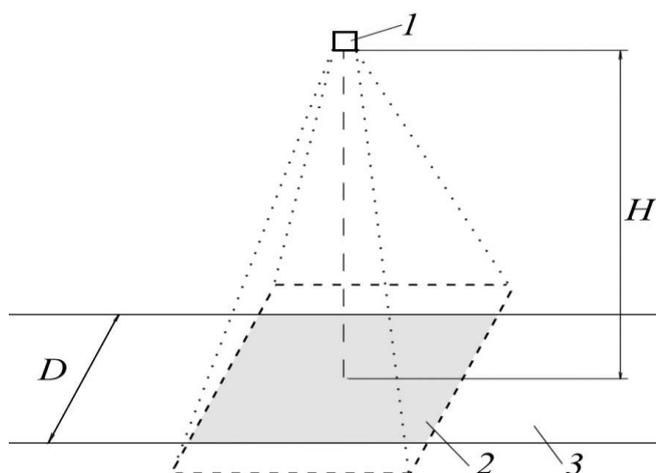


Рисунок 4.7. Схема расположения видеокамера 1 над конвейерной линией 3.  $H$  – расстояние от видеокамеры до конвейерной линии,  $D$  – ширина конвейерной линии, 1 – видеокамера, 2 – область конвейерной линии, попадающая в зону видимости камеры, 3 – конвейерная линия производственного процесса.

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 заданным углом обзора расположена таким образом, что изображение

конвейерной линии занимает часть кадра, то необходимо использовать специальные поля в интерфейсе программы, значения которых присваиваются в соответствующие переменные программы, характеризующие ширину отступа в пикселах. 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 4.8), где  $W$  – ширина изображения,  $H$  – высота изображения в пикселах, пунктирными линиями абстрактно изображена конвейерная линия.

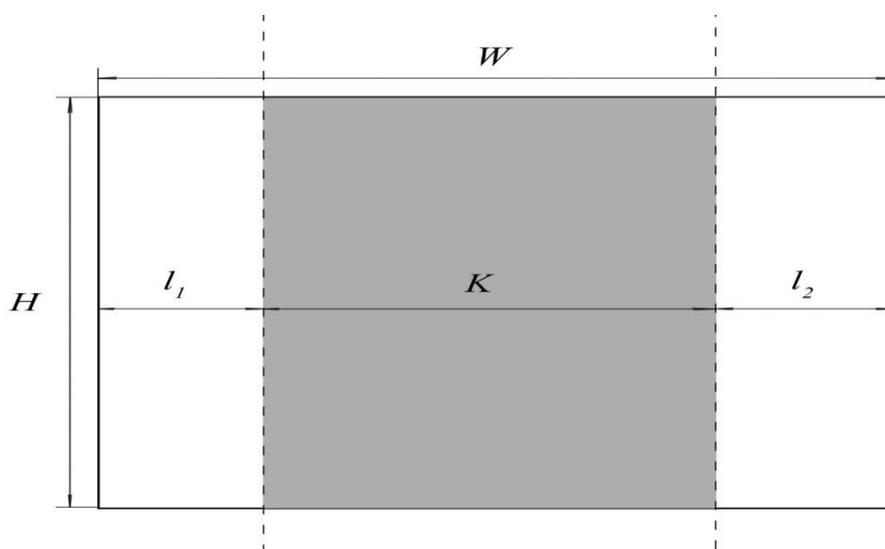


Рисунок. 4.8 Калибровка отступов

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:

$$1px = \frac{K}{N} \quad (4.1)$$

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:

$$l_w = l_{MN} \times \frac{K}{N} \quad (4.2)$$

$$l_H = l_{EH} \times \frac{K}{N} \quad (4.3)$$

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 технического зрения в качестве инструмента автоматизации контроля такого важного органолептического показателя качества сырья при производстве подсолнечной халвы, как коэффициент извлечения примесей.

На рисунке 4.9 показана структурная схема СТЗ для автоматизации контроля в потоке коэффициента извлечения примесей.

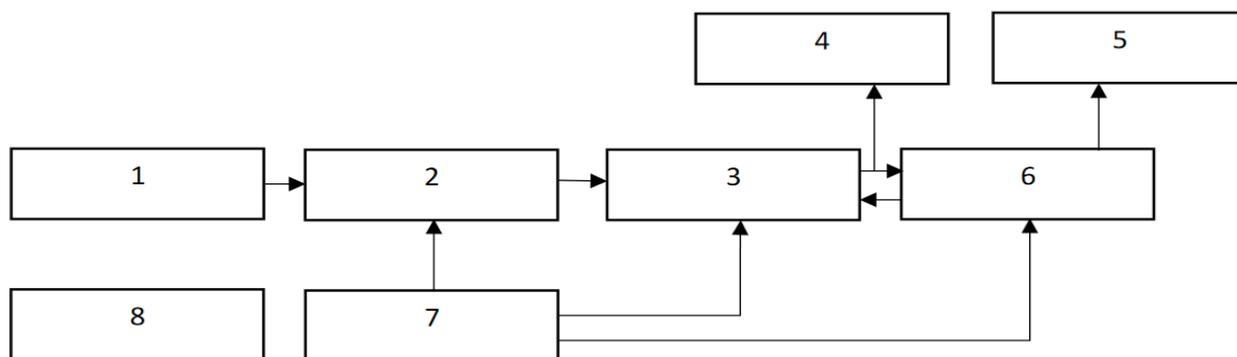


Рисунок 4.9 структурная схема СТЗ для автоматизации контроля в потоке коэффициента извлечения примесей

1 – оптическая система и преобразователь свет – сигнал; 2 – блок АЦП и предварительной обработки видеосигнала; 3 – блок БЗУ и связи с ЭВМ; 4 – видеоконтрольное устройство; 5 – дисплей; 6 – ЭВМ; 7 – блок синхронизации; 8 – осветительное устройство.

Для решения поставленной задачи было решено использовать, как и СКЗ, так и нейросетевые технологии. Нейронная сеть, которая использовалась для контроля примесей в сырье, является сверточной нейронной сетью, на рисунке 4.10. показан пример архитектуры сверточной нейронной сети.

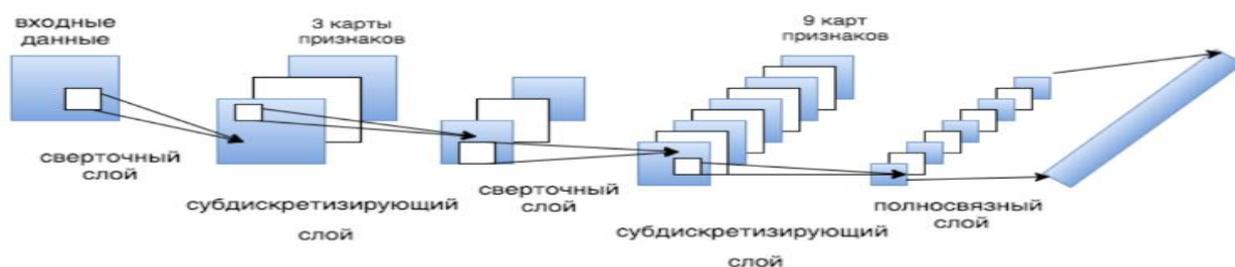


Рисунок 4.10 Пример архитектуры сверточной нейронной сети.

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 вычислении нового значения текущего пикселя, учитывая значения соседних пикселей. Для вычисления значения текущего пикселя используется ядро свертки. Во время вычисления нового значения выбранного пикселя на него накладывается ядро свертки (матрица свертки), соседние пиксели так же накрываются ядром. Далее подсчитывается сумма, где слагаемыми являются произведения значений пикселей на значения ячейки ядра, накрывшей данный пиксель. Получившийся результат суммируется и записывается в аналогичную позицию выходного изображения.

Чтобы нейронная сеть корректно работала и определяла примеси необходимо было ее обучить. Для этого был создан набор изображений семян подсолнечника с разным включением примесей, представленный на рисунке 4.11.

Так как качество определения во многом зависит от набора обучающих

изображений был использован метод расширения данных, который позволил увеличить этот набор, путём сдвига поворота и искажений первоначальных изображений.

После выбора архитектуры нейронной сети и 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.

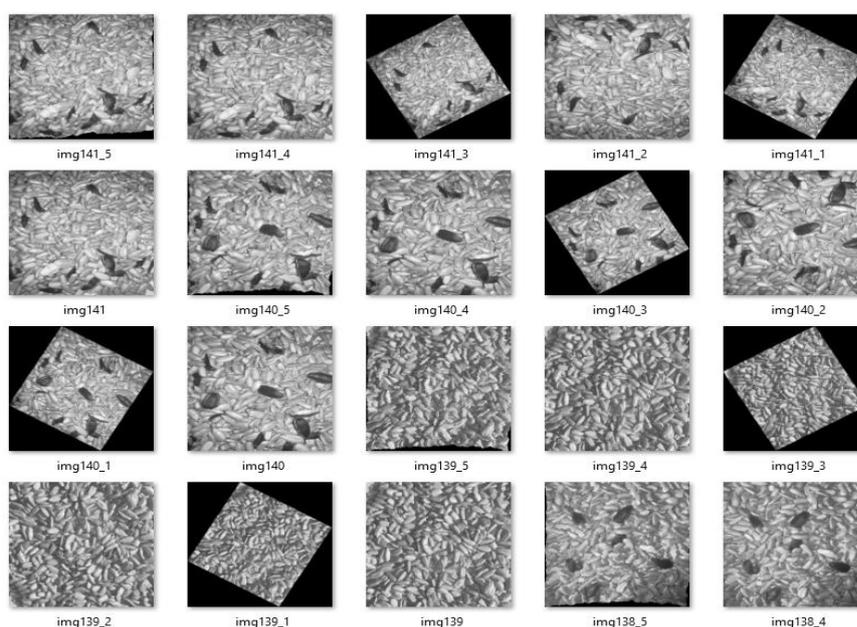


Рисунок 4.11 Создание набора изображений для обучения нейронной сети

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

Полученные данные показали перспективность использования методов объектно-ориентированных языков программирования в СТЗ совместно с

использованием нейронной сети для применения в интеллектуальной автоматизированной системе управления качеством халвы при автоматизации контроля в потоке коэффициента извлечения примесей.

#### ***4.2.2. Применение технического зрения для автоматического контроля в потоке внешнего вида семян подсолнечника***

СТЗ работает с визуальной информацией, обработав которую, получает данные, передающиеся в дальнейшем в модуль автоматического контроля органолептических показателей (АКОП) ИАСУ качества халвы в процессе производства.

Анализ детального состояния (внешнего вида) таких массовых объектов, как семена подсолнечника на данный момент ещё никем не рассматривался. Поставленная перед нами задача автоматизации контроля внешнего вида семян подсолнечника в ходе управления ТП производства халвы требует обеспечения выборки с большим числом этих объектов и дополнительного сбора такой информации к распознаванию СТЗ.

Для решения этой задачи и автоматизации контроля внешнего вида массового количества семян подсолнечника, поступающих на производство халвы, необходим подбор алгоритм, способного выполнять классификацию объектов по заранее заданному обучающему множеству [82, 89].

Существующие СТЗ способны производить анализ множественного количества объектов. В таких СТЗ используется следующая схема: на вход СТЗ 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, отправка её в контейнер с отходами, классификация по степени качества и т.д. Среди производителей оборудования, способного решать

рассматриваемые задачи, присутствуют Buhler Group, Omron, Mallenom Systems, Cognex Corporation. На рисунке 4.12 представлены схема оборудования и классы решаемых СКЗ задач.

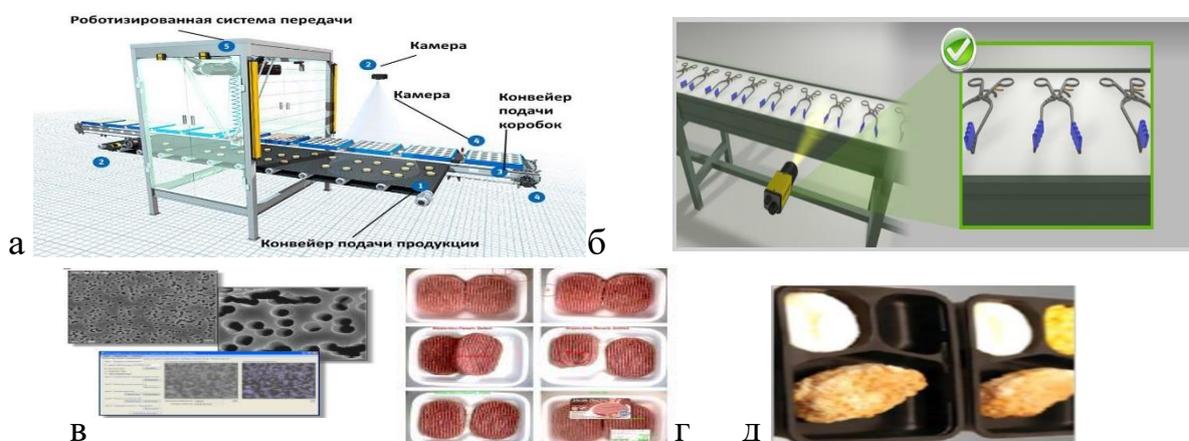


Рисунок 4.12 Решаемые СТЗ задачи: а – схема конвейера; б – контроль качества сборки медицинского оборудования; в – контроль рисунка; г – комплексная инспекция мясных полуфабрикатов; д – контроль комплектности размещения продуктов.

Анализ исследований в данной области позволил разработать алгоритм распознавания СТЗ внешнего вида семян подсолнечника (множественного количества объектов растительного происхождения), представленный на рисунке 4.13.



Рисунок 4.13 Алгоритм СТЗ по распознаванию внешнего вида семян подсолнечника: а – режим обучения; б – рабочий режим

Были проведены исследования по использованию нейронных сетей (НС) на основе многослойного персептрона. Точность по распознаванию типов и видов семян подсолнечника при этом составляла около 90 %. Блок-схемы полученной СТЗ распознавания типов и видов семян подсолнечника, основанной как на искусственных нейронных сетях, так и на статистических методах, представлены на рисунке 4.14.

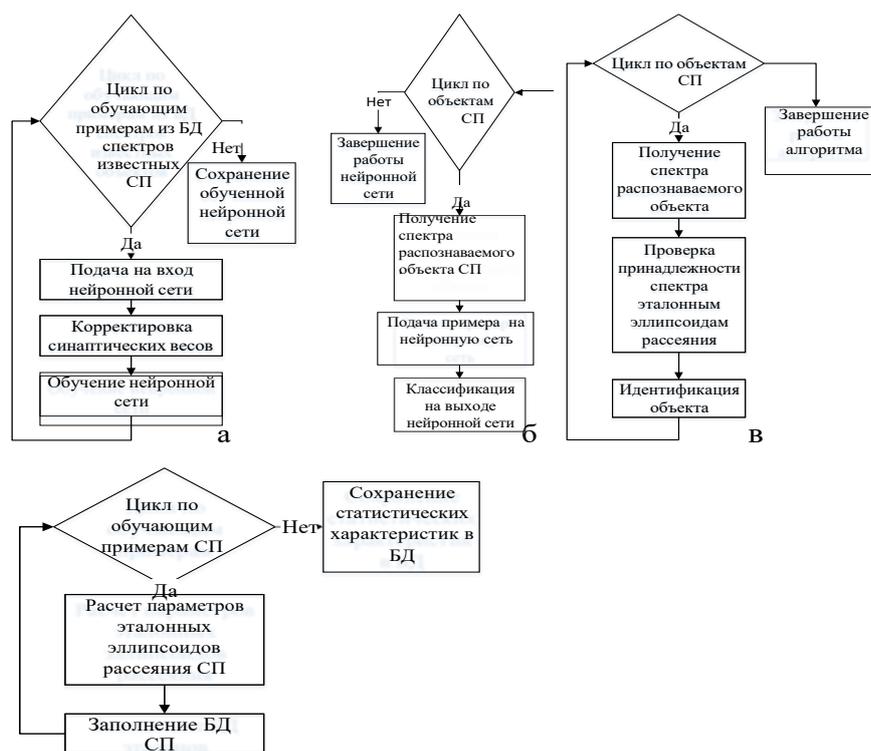


Рисунок 4.14. Блок схема нейросетевого классификатора по распознаванию типов и видов семян подсолнечника:

- 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.

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 4.15.

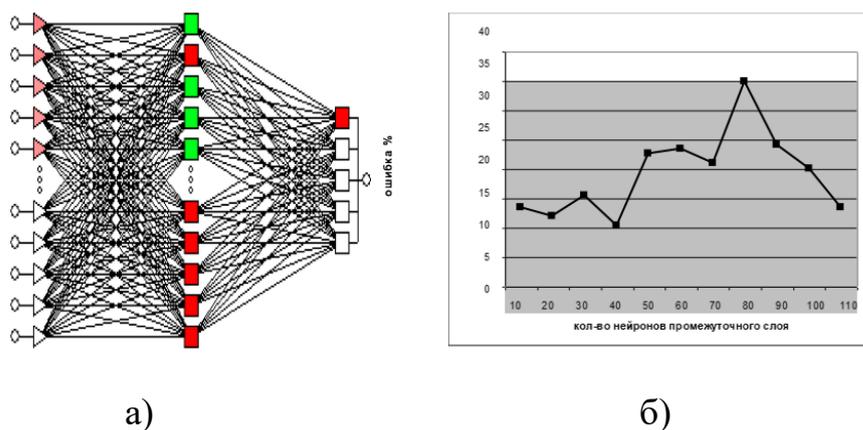


Рисунок 4.15. Нейросетевая структура используемая для определения внешнего вида семян подсолнечника и полученный результат её работы: а – нейросетевая структура; б – результаты расчета ошибки распознавания внешнего вида семян подсолнечника

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). 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. Проведенные исследования показали, что нейросетевой классификатор работает быстрее, но он не даёт возможность объяснить, почему СТЗ приняла именно такое решение. Высокая точность была получена в процессе обучения сети.

#### ***4.2.3. Структурная организация модуля автоматического контроля в потоке органолептических показателей качества семян подсолнечника***

Всё более актуальной становится такая функция СТЗ, дополняющая функцию распознавания изображений, как оценка состояния распознанных семян

подсолнечника, под которым понимается распознавание основных органолептических показателей (внешний вид и коэффициент извлечения примесей в массе семян подсолнечника) семян подсолнечника, поступающих на производство халвы. В данных случаях, при решении задачи распознавания изображений внешнего вида семян подсолнечника, возникает также подзадача идентификации отдельных сортов семян подсолнечника.

Для решения данных задач в СТЗ могут использоваться не одна, а несколько камер. При этом важен учет информации, поступающих с разных снимаемых ракурсов. При выполнении работы с анализируемыми объектами одним из этапов СТЗ должен быть этап отделения изображения объектов от фоновых пикселей. В наших исследованиях этот фон неоднородный. При этом исследоваться должны не статичные изображения, а с 2D – динамические изображения этапа подготовки сырья к производству халвы. 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.

Одним из важных этапов распознавания является сегментация. В данной работе для сегментации изображения был использован алгоритм k-means [113, 114]. 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 автоматического контроля качества органолептических показателей (АКОП) семян подсолнечника должен включать СТЗ, состоящую из подсистемы бинаризации объектов [89], подсистема выделения отдельных объектов из их массового количества, подсистема контроля качества бинаризации, подсистема сегментации и подсистема 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 исследуемых семян подсолнечника.

Поэтому использование детальной оценки состояния сырья позволило бы выполнить классификацию и отделение порченных семян подсолнечника, 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. Это: 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 4.16 представлен разработанный модуль АКОП требуемой функциональности, базирующийся на СТЗ.

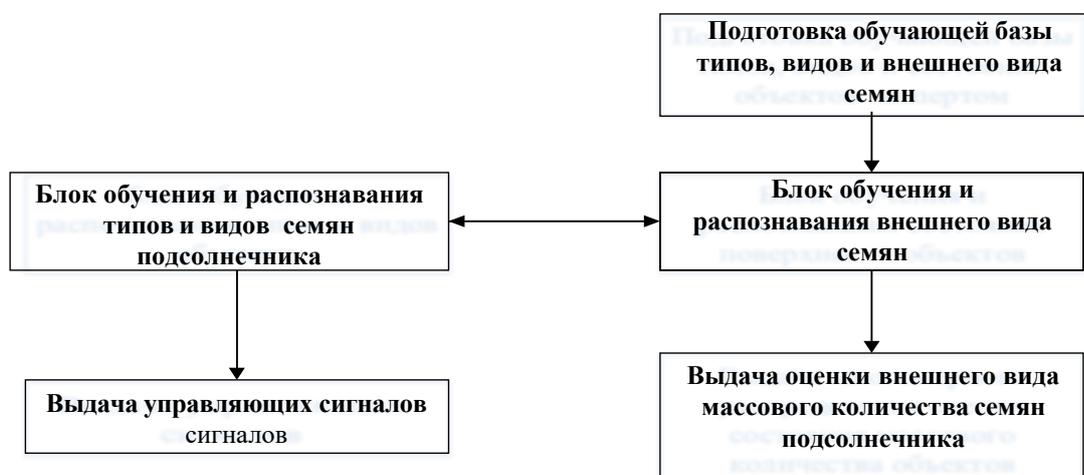


Рисунок 4.16 Общая структура модуля АКОП требуемой функциональности

### **4.3. Применение нейросетевых технологий для управления качеством подсолнечной халвы в процессе производства.**

#### **4.3.1. Оценка возможностей применения нейросетевых технологий для управления качеством подсолнечной халвы**

Нейронным управлением называется применение полностью определенных нейронных сетей для выработки управляющих сигналов [6]. Основными достоинствами применения НС для решения задач управления являются:

1. Возможность обучения или/и самообучения любым функциям, что избавляет от необходимости использовать сложный математический аппарат.
2. Использование нелинейных ИНС обеспечивает возможность реализации нелинейных отображений, что является важным преимуществом для решения задач управления с существенными нелинейностями.
3. Способность НС к самообучению не требует наличия большого объема исходной информации об объекте управления.

Одной из предпосылок широкого применения НС в управлении стало большое количество используемых следующих схем нейронного управления:

последовательная, параллельная, схема управления с самонастройкой, схема управления с эмулятором и контроллером (обратного распространения во времени), адаптивно—критическая схема.

Обзор и анализ работ в этой области показал, что существуют разнообразные интересные схемы, в которых нейронные сети применяются непосредственно для управления процессом. Но имеются и такие схемы управления, в которых нейронные сети служат для идентификации или коррекции.

Вызывает интерес схема, представленная на рисунке 4.17. В качестве контроллера выступает инверсный нейроэмулятор. Процесс обучения (рисунок 4.17, а) строится следующим образом: для создания обучающего множества на вход объекта управления подается случайный процесс. Обучающее множество формируется из входных управляющих действий  $u$  и выходных реакций  $y$ , поданных с задержкой TDL (tapped delay line). Нейронная сеть обучается на этих данных, и в результате обучает инверсную модель объекта. В процессе управления (рисунок 4.17, б) на вход обученной нейронной сети подается опорный сигнал  $r$  и задержанные сигналы с выхода объекта. На выходе нейронная сеть выдает сигнал управления.

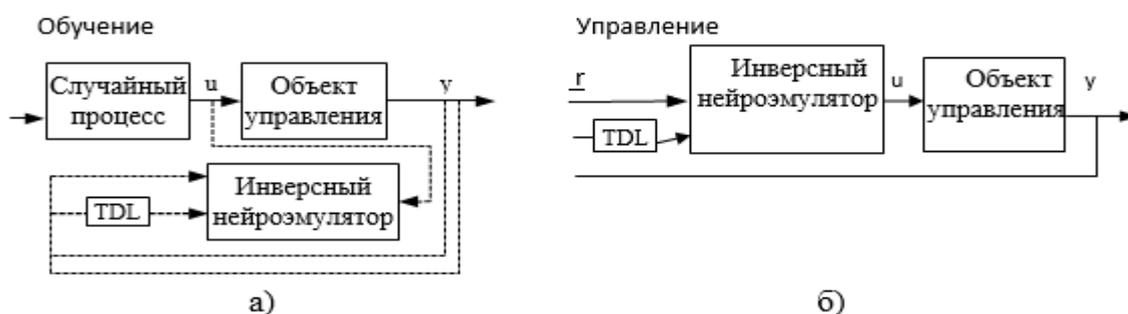


Рисунок 4.17. Схема на основе инверсного нейроэмулятора

а – режим обучения; б – рабочий режим управления

На рисунке 4.18 представлен вариант подражающего нейроуправления [66]. При обучении на нейронную сеть поступают данные с обычного контроллера. Затем нейронная сеть ставится на место контроллера и выдает

управляющие сигналы (рисунок 4.18, б).

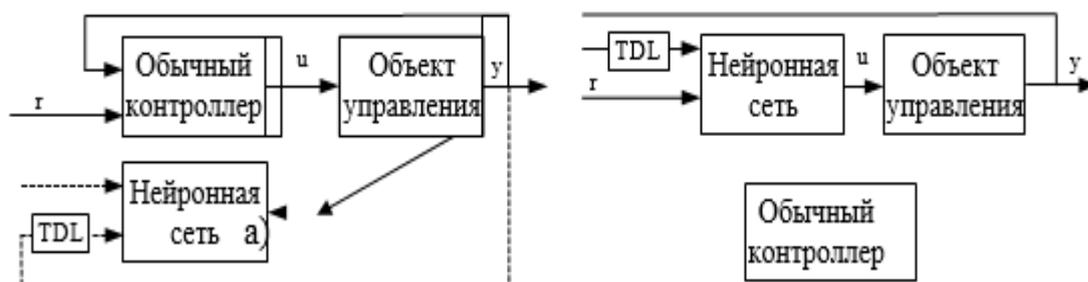


Рисунок 4.18 Схема с использованием подражающего нейроуправления:

а – режим обучения; б – рабочий режим управления

Возможно нейроуправление, при котором нейронная сеть обучается автономно на инверсной модели объекта управления. По окончании обучения она настраивается для непосредственного управления определенным объектом. Архитектура специализированного обучения представлена на рисунке 4.19.

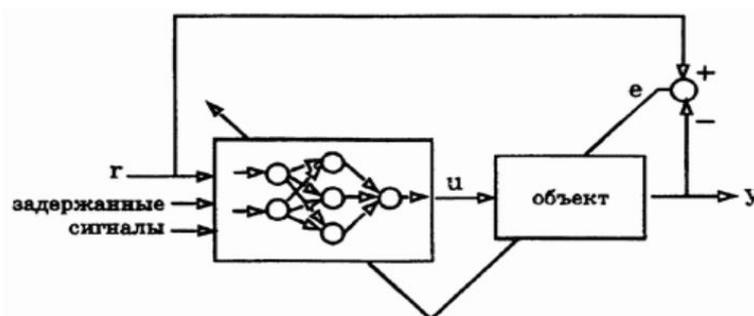


Рисунок 4.19 Архитектура специализированного обучения

Модель нейронной сети непосредственно обучается на инверсии модели объекта управления путем обратного распространения выходного сигнала контроллера с обратной связью.

Метод обучения нейроконтролеров, при котором минимизируется отклонение текущего положения ОУ от заданного значения, не всегда обеспечивает наилучшее интегральное качество управления. Для этого перспективно прогнозирующее модельное нейроуправление, представленное на схеме рисунка 4.20.

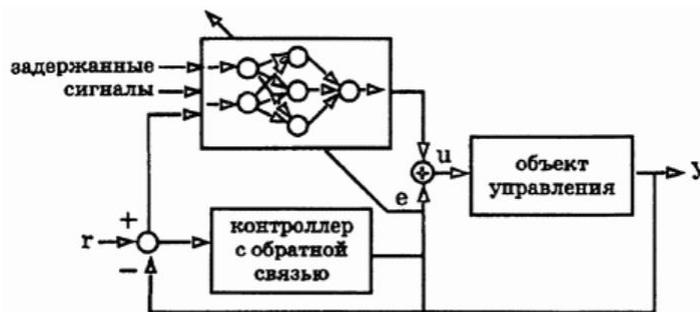


Рисунок 4.20 Архитектура обучения с ошибкой обратной связи

Используемый при этом метод классифицируют как «обратное распространение во времени». Модель нейронной сети непосредственно обучается на инверсии модели объекта управления путем обратного распространения выходного сигнала контроллера с обратной связью.

Обзор и анализ различных схем нейронного управления показал, что для решения задач управления процессом производства подсолнечной халвы необходимо применение многослойных нейронных сетей, что обусловлено их универсальностью, способностью к обучению, что позволяет получить адаптивные системы управления; способностью к параллельной обработке сигналов, что является важным свойством для реализации управления многомерными объектами, каким является производство подсолнечной халвы. Традиционные методы управления этим не справляются с поставленной задачей.

Проведенные нами исследования [19- 26, 82, 87 – 90] показали, что для управления качеством подсолнечной халвы в процессе производства наилучшим вариантом является нейронный регулятор на базе многослойных нейронных сетей, а также архитектура нейронного управления, использующая алгоритм обратного распространения (рисунок 4.20).

#### ***4.3.2. Использование нейросетевых технологий для решения проблемы мониторинга и управления процессом сепарирования семян подсолнечника***

На рисунке 4.21 представлена схема автоматической системы контроля содержания лузги в потоке, мониторинга и управления процессом сепарирования семян подсолнечника в процессе производства подсолнечной халвы. Данная

система способна анализировать качество сырья по органолептическим параметрам с помощью системы технического зрения и управлять процессом сепарирования семян подсолнечника с использованием нейроконтроллера, включающего нейросетевой блок, блок анализа данных и блок управления.

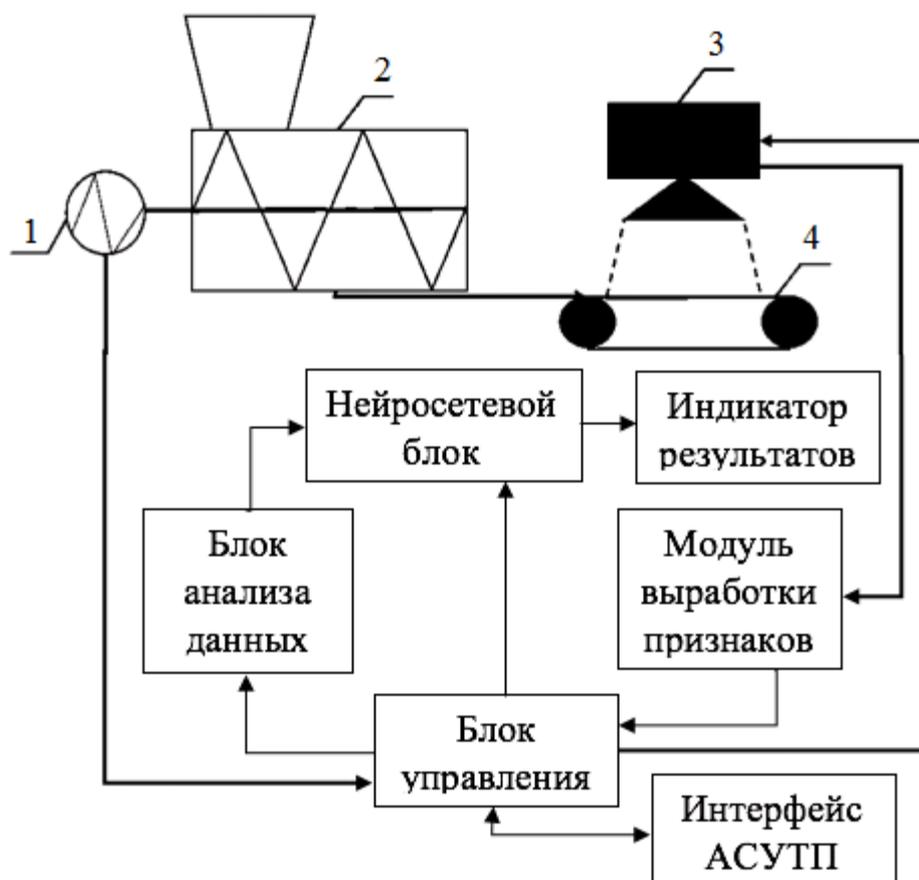


Рисунок 4.21. Схема автоматической системы мониторинга и управления процессом сепарирования семян подсолнечника

Цифровая видео камера 3 снимает весь поток сырья семян подсолнечника, перемещающегося на ленточном конвейере 4. Если нейросетевой блок обнаруживает снимок семян подсолнечника с параметрами, незначительно отличающихся от заданных значений, хранящихся в памяти модуля выработки признаков, то запускается процесс измерений в блоке анализа данных, результаты измерения передаются в нейросетевой блок для его обучения. На вход нейросети подается вектор характерных признаков снимка. На выходе нейросети формируется управляющее воздействие на режимы работы двигателя

2 для сепаратора 1. После тренировки сети цикл предварительного обучения завершается. В режиме измерений все описанные блоки работают аналогично, однако блок анализа данных в основном находится в режиме ожидания, а нейросетевой блок преобразует полученные снимки в результат на основе уже обученной ранее системы. Когда поступает новый образец, проводится новый анализ и дополнительное обучение системы на этом образце. Работа нейросети способствует постепенному увеличению точности и метрологической надежности автоматического интеллектуального управления процессом сепарирования семян подсолнечника.

#### 4.4. Программирование логического контроллера для создания ИАСУК подсолнечной халвы

В пунктах 1.3, 2.1 и 4.3 данной работы было отмечено, что для автоматизированного управления линией производства халвы на кондитерских предприятиях наиболее эффективно использование программируемого логического контроллера (ПЛК). В связи с этим было проведено программирование ПЛК с помощью высокоэффективного программного обеспечения CODESYS. Модель ТП производства подсолнечной халвы в программе CODESYS V2.3 представлена на рисунке 4.22.

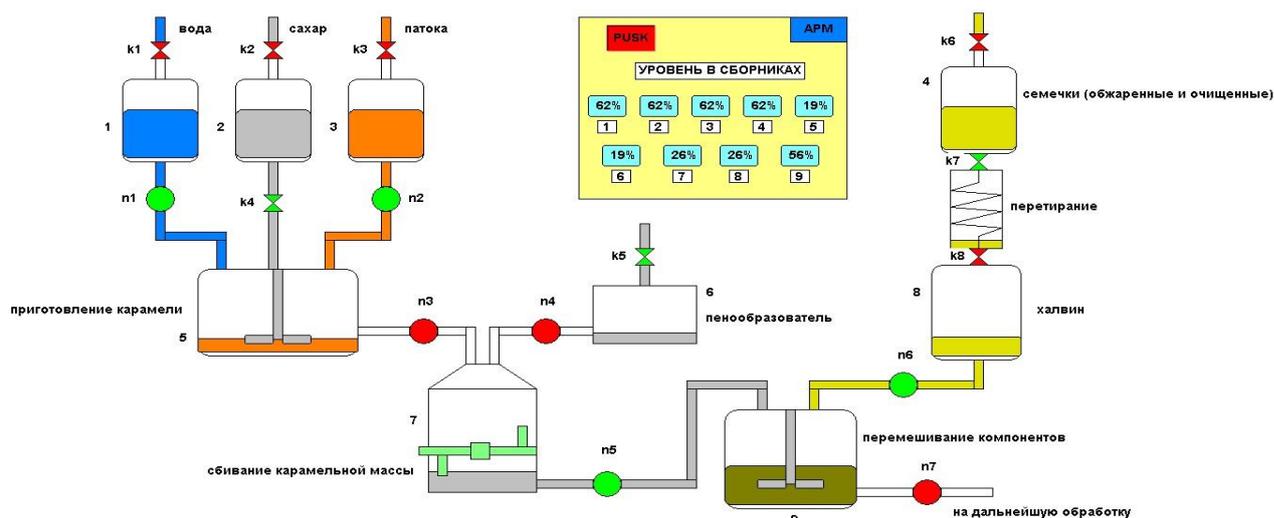


Рисунок 4.22 Модель процесса производства халвы в программе CODESYS

Программа реализована на графическом языке CFC и предусматривает непрерывный цикл производства халвы. На рисунке 4.23 представлен код программы на языке CFC.

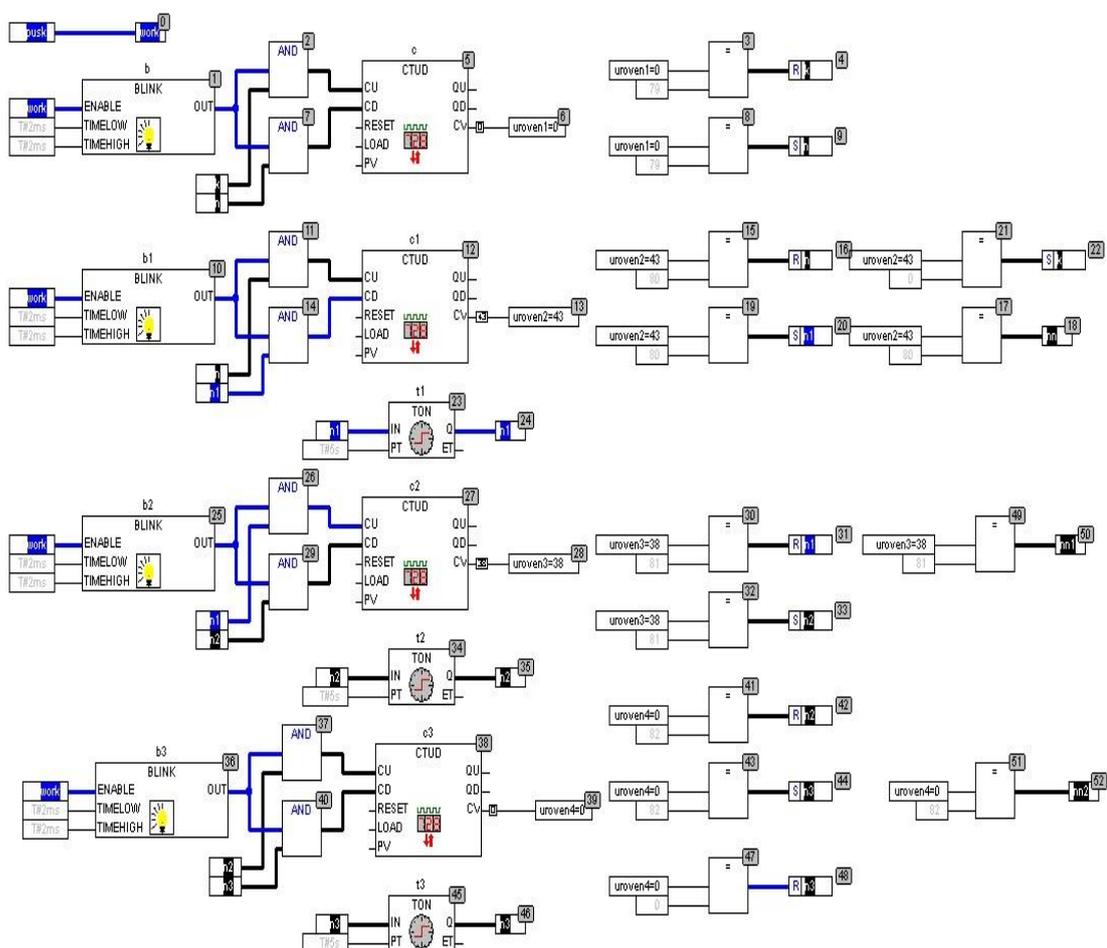


Рисунок 4.23 Код программы на языке CFC

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 ИАСУК 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 исследуемого

производственного процесса, и его виртуальное тестирование, что позволило оптимизировать все этапы производства халвы, полностью контролировать работу технологического оборудования.

#### 4.5. Разработка ФСА основных стадий производства подсолнечной халвы

##### 4.5.1. ФСА процесса сепарирования семян подсолнечника

На основании имеющихся полученных данных, все важнейшие параметры, характеризующие процесс подготовки полученного после сепарирования сырья к хранению или дальнейшему производству подсолнечной халвы, были заложены в разработанную функциональную схему автоматизации (ФСА) этого процесса (рисунок 4.24).

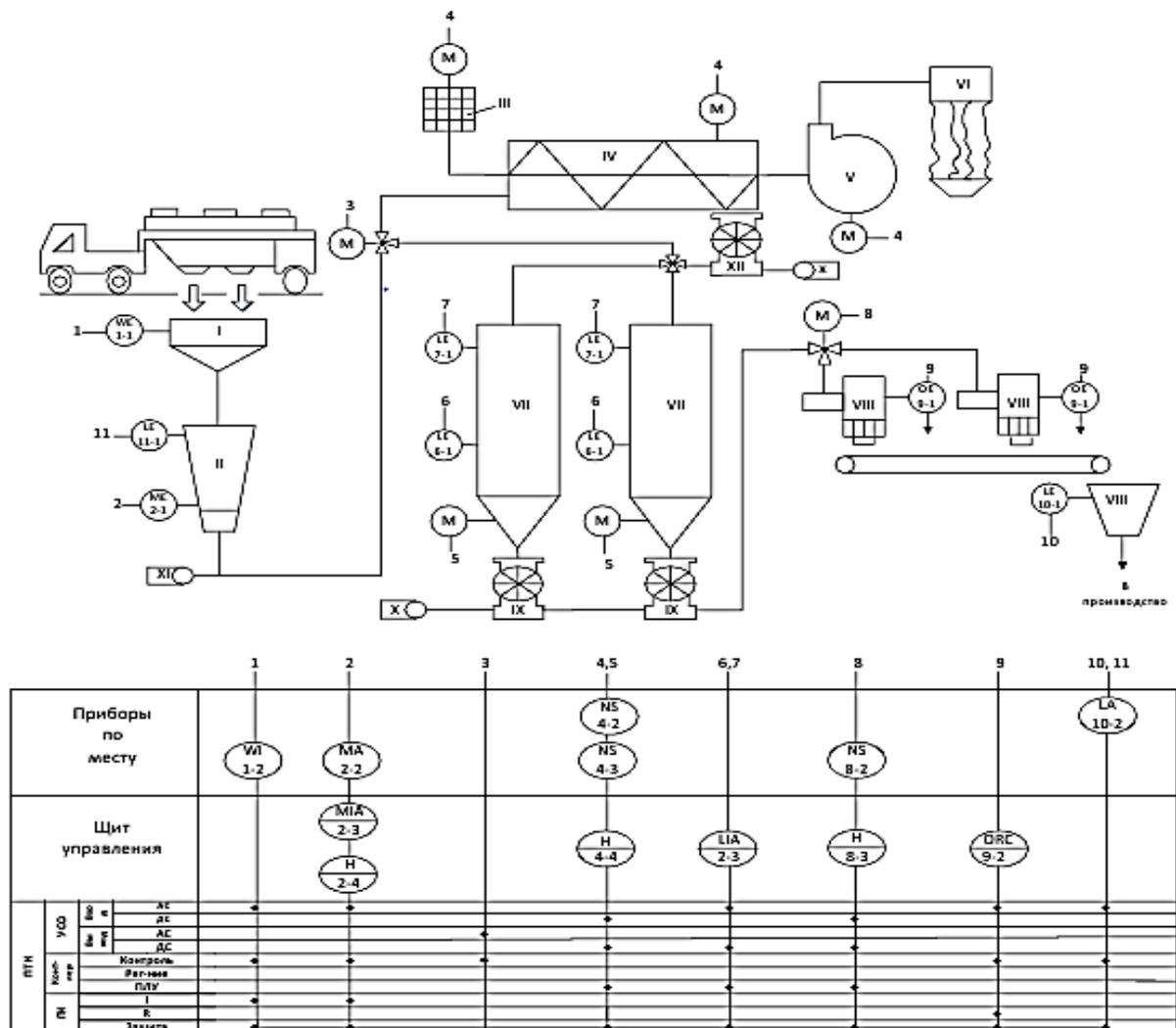


Рисунок 4.24 ФСА процесса сепарирования семян подсолнечника

Разработанная схема автоматизации 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].

#### ***4.5.2. ФСА процесса приготовления сахарного сиропа для производства халвы***

На рисунке 4.25. 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.

### 4.5.3. ФСА процесса приготовления карамельного сиропа для производства халвы

На рисунке 4.26. 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.

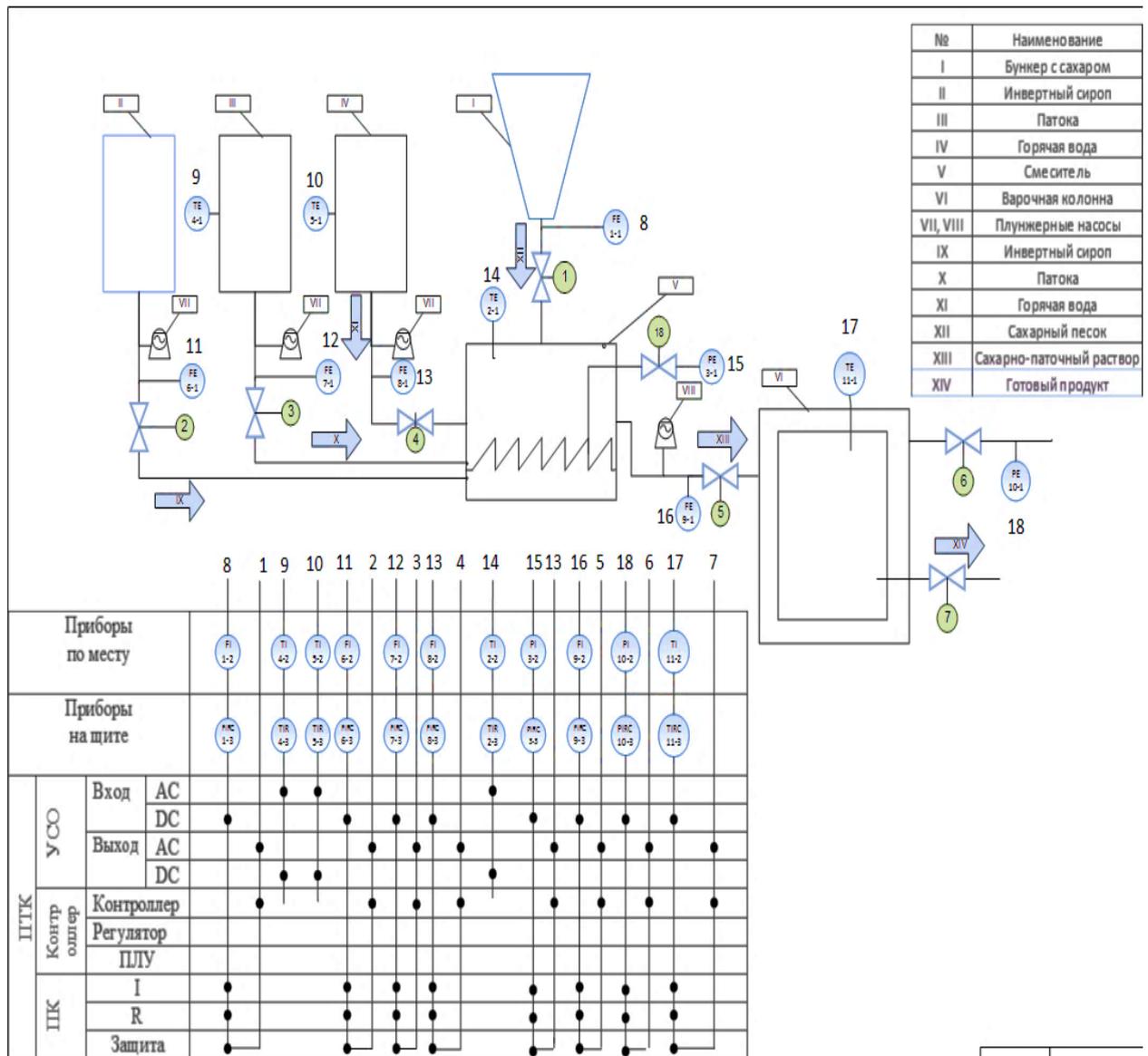
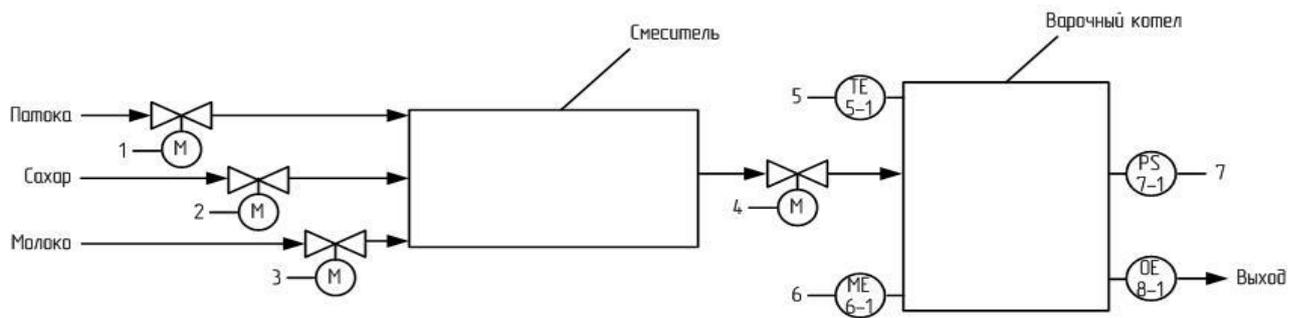


Рисунок 4.25 ФСА процесса приготовления сахарного сиропа



			1	2	3	4	5	6	7	8	
Приборы по месту			NS	NS	NS	NS	П				
			1-2	2-2	3-2	4-2	5-2				
			H	H	H	H					
Приборы на щите			1-3	2-3	3-3	4-3					
			FE	FE	FE	FE					
			1-4	1-4	1-4	1-4					
ПТК			FFR	FFR	FFR	FFR	TR	MR	PR	ORC	
			1-5	2-5	3-5	4-5	5-3	6-2	7-2	8-2	
			H	H	H	H					
УСО	Вход	АС									
		DC	•	•	•	•				•	
	Выход	АС	•	•	•	•					
		DC									
Контроллер	Контроллер		•	•	•	•				•	
	Регулятор										
	ПЛУ										
ПК	I		•	•	•	•	•	•	•	•	
	R		•	•	•	•	•	•	•	•	
	Защита										

Рисунка 4.26 ФСА процесса приготовления карамельного сиропа для производства халвы

#### 4.5.4. ФСА процесса взбивания карамельных масс для производства халвы

На рисунке 4.27. 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).

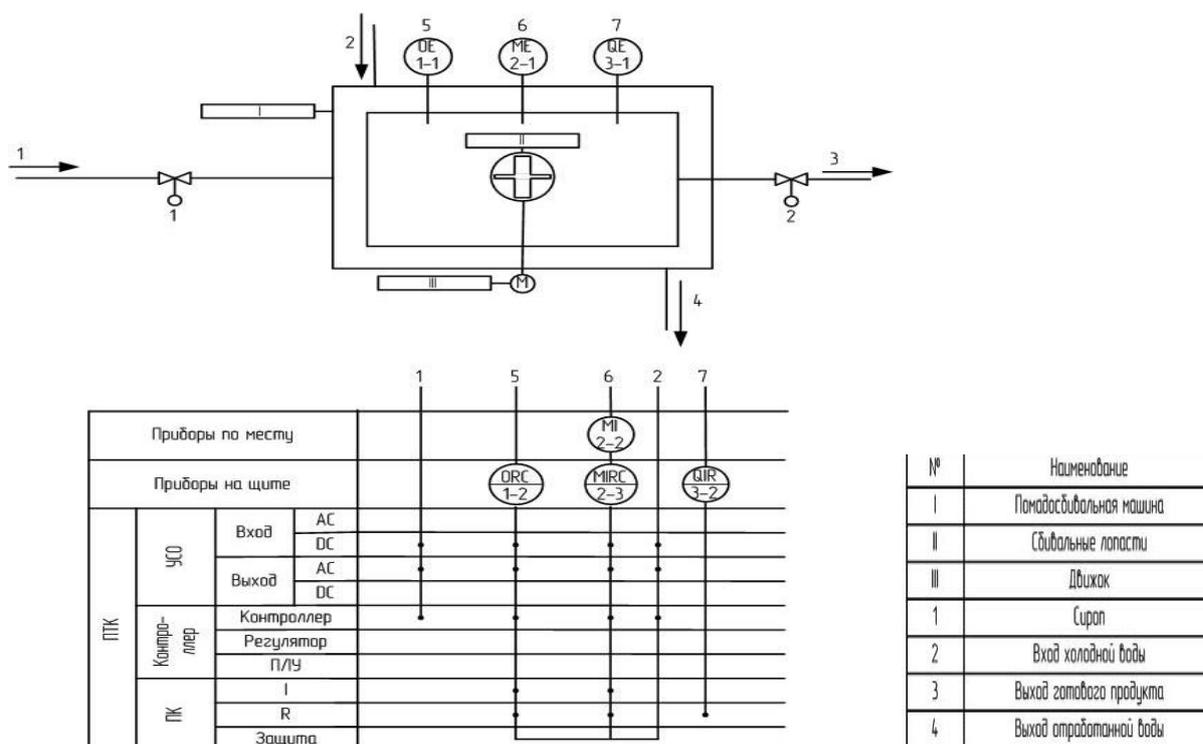


Рисунок 4.27 ФСА процесса взбивания карамельных масс

Для получения заданного качества карамельных масс системой цифровых видеокамер (ЦВК) контролируется цвет получаемой массы (5) и с использованием ИНС в потоке определяется величина 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.

#### 4.5.5. ФСА процесса вымешивания массы халвы

Все выявленные важнейшие параметры, характеризующие процесс вымешивания массы халвы, в том числе датчики контроля качества, характеризующие величину кристаллов сахара в массе халвы, а также цвет этих масс после выполнения данного этапа, были заложены в разработанную ФСА процесса вымешивания массы халвы, представленную на рисунке 4.28.

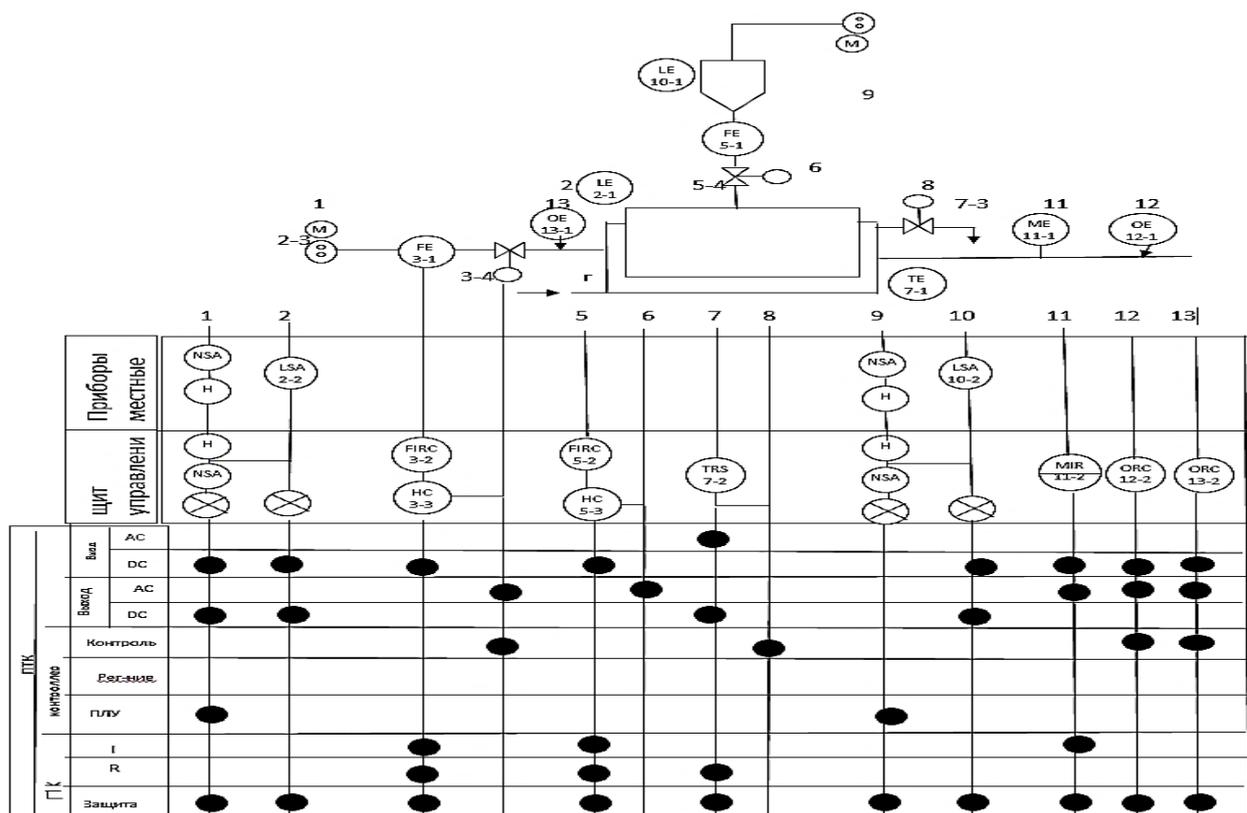


Рисунок 4.28 ФСА процесса вымешивания массы халвы

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.

#### 4.5.6. ФСА процесса формования корпусов конфет халвы

Все выявленные важнейшие параметры, характеризующие процесс формования халвы, в том числе датчики контроля качества корпусов конфет после формования были заложены в разработанную схему автоматизации формования корпусов конфет халвы, представленную на рисунке 4.29.

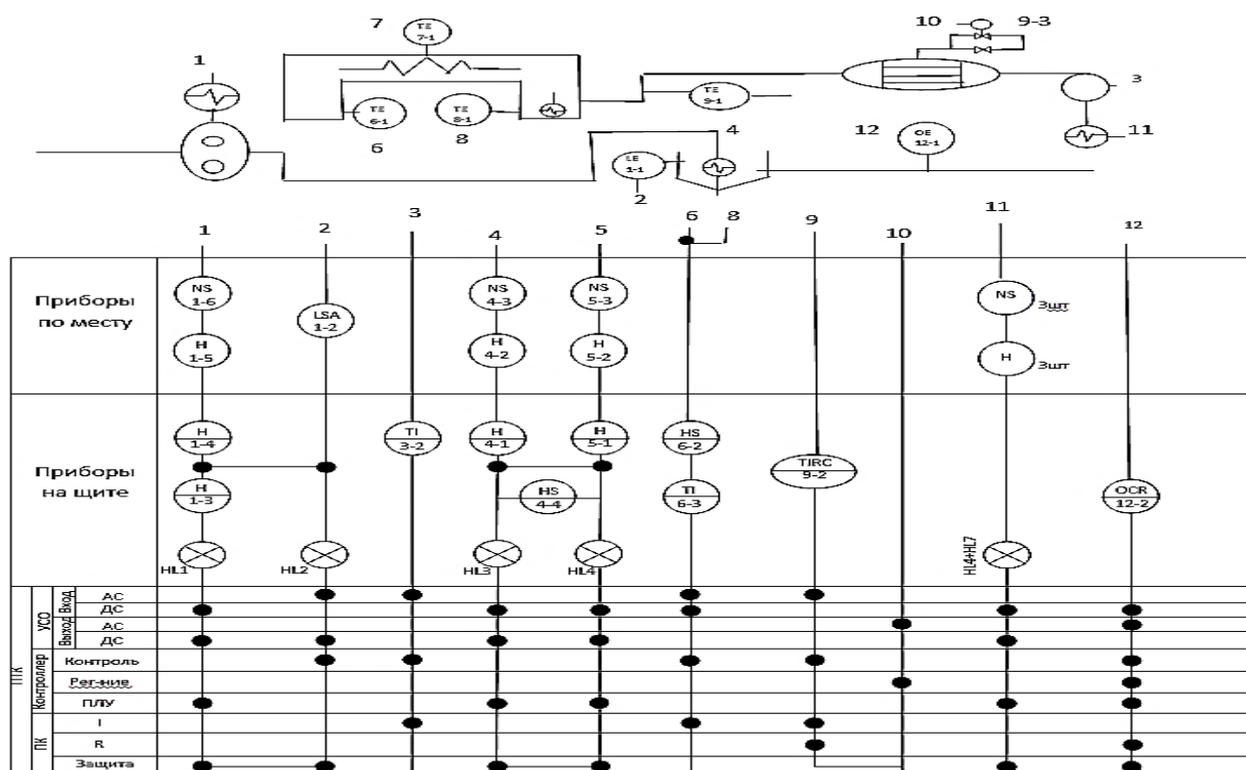


Рисунок 4.29. ФСА процесса формования корпусов конфет халвы

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].

#### 4.6. Основные результаты и выводы по 4 главе

В четвертой главе показана возможность применения интеллектуальных технологий для автоматического контроля в потоке основных органолептических показателей качества семян подсолнечника, полуфабрикатов и готовой халвы. А также показаны разработанные на их основе функциональные схемы автоматизации основных ТП производства халвы.

Представлены основные требования к ИАСУ.

Разработан модуль (программно-аппаратный комплекс) автоматического контроля в потоке коэффициента извлечения примесей и внешнего вида семян подсолнечника, Показана перспектива использования СТЗ для разработки методов и средств автоматизации контроля данных показателей качества сырья

при производстве подсолнечной халвы. Представлено техническое обеспечение системы технического зрения.

Предложен метод автоматического контроля в потоке размера семян подсолнечника, получаемых в процессе сепарирования, с помощью системы технического зрения (СТЗ).

Разработано программное обеспечение созданного модуля (программно-аппаратного комплекса) автоматического контроля в потоке коэффициента извлечения примесей при сепарировании семян подсолнечника с использованием библиотека OpenCV. Определены оптимальные места монтажа и расположения СКЗ в линии производства подсолнечной халвы. Представлен необходимый состав и структурное обеспечение системы компьютерного зрения.

Разработан алгоритм распознавания СКЗ внешнего вида семян подсолнечника с использованием нейросетевых технологий. Показана структурная организация модуля автоматического контроля в потоке внешнего вида семян подсолнечника.

Приведены и проанализированы существующие схемы и архитектуры нейросетевого управления. Показано, что для решения задач управления процессом производства подсолнечной халвы необходимо применение многослойных нейронных сетей. Для управления качеством халвы в процессе производства обоснована рекомендация использования нейронных регуляторов, использующих алгоритм обратного распространения.

Разработана схема системы 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, включающего нейросетевой блок, блок анализа данных и блок управления.

Представлены ФСА основных стадий производства халвы с новыми решениями по автоматизации контроля основных органолептических показателей качества семян подсолнечника, полуфабрикатов и готовых конфет халвы с использованием нейросетевых технологий и систем технического зрения, что позволит повысить эффективность исследуемого производства.

## ГЛАВА 5. ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ХАЛВЫ

### 5.1. Основные задачи интеллектуальной автоматизированной системе управления качеством халвы в процессе производства

Интеллектуальная автоматизированная система управления качеством халвы (ИАСУКХ) в процессе производства должна решать следующие задачи:

- автоматический контроль сырья (коэффициент извлечения примесей в семенах подсолнечника и внешний вид семян подсолнечника) на основе наблюдения (мониторинга) информации, поступающей в режиме реального времени;

- автоматический контроль полуфабрикатов (цвет, консистенция) на основе наблюдения (мониторинга) информации, поступающей в режиме реального времени;

- автоматический выходной контроль готовых конфет халвы (внешний вид готовых конфет халвы) на основе наблюдения (мониторинга) информации, поступающей в режиме реального времени;

- мониторинг ТП производства подсолнечной халвы (продолжительные измерения и контроль с архивированием полученной информации);

- контроль соблюдения существующих на кондитерских предприятиях параметров качества сырья, полуфабрикатов и готовых конфет халвы, определение этапов производства с отклонением заданных параметров качества от установленных требований, выявление некондиционной продукции халвы.

Поскольку для обеспечения требуемого качества производства халвы необходимо в ходе ТП не только выявлять брак, дефекты и несоответствия, но и предупреждать их появления, важной задачей ИАСУ является также прогнозирование качества готовых конфет халвы. Поэтому в числе важных задач

ИАСУ:



Показанный на рисунке 5.1. объект управления (ОУ) – это линия производства халвы. Совместно функционирующие ОУ и управляющая им ИАСУК образуют интеллектуальный автоматизированный технологический комплекс.

ИАСУК 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, осуществляющей выработку и реализацию управляющих воздействий на ОУ. Важный признак ИАСУК – это осуществление управления в реальном масштабе времени протекания технологического процесса производства халвы.

В состав ИАСУКХ (рисунок 5.1) 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.

Интеллектуальная автоматизированная система управления качеством халвы имеет управляющие, информационные и вспомогательные функции.

*К управляющим функциям системы управления* относится регулирование (стабилизация) отдельных основных технологических параметров, характеризующих ход процесса производства халвы; оптимальное управление всеми стадиями процесса производства халвы; управление режимными параметрами используемого оборудования; адаптивное управление линией производства халвы в целом.

*Система управления качеством халвы* выполняет сбор, обработка и представление полученной информации о состоянии производства для последующей ее обработки или передачи ее оперативному персоналу, что является информационными функциями данной интеллектуальной системы.

К вспомогательным функциям интеллектуальной системы управления качеством халвы относится мониторинг состояния технических и программных средств системы.

На основании проведенных нами исследований была разработана функциональная структура интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы (ИАСУКХ) в процессе производства, представленная на рисунке 5.2.



Рисунок 5.2. Функциональная структура ИАСУКХ

Как показал анализ функциональной структуры ИАСУКХ, одной из важнейших задач, которые должна решать интеллектуальная система управления качеством халвы в процессе производства является количественное оценивание в режиме онлайн основных органолептических параметров качества сырья и готовой продукции в процессе производства халвы, что возможно при автоматизации контроля этих параметров качества с использованием необходимых интеллектуальных технологий.

### 5.3. Разработка основных видов обеспечения ИАСУКХ

#### 5.3.1. Информационная инфраструктура обеспечения интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы

В структуре ИАСУКХ 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 5.3). Свойства сырья, полуфабрикатов и готовых конфет халвы представлены в разработанной БД справочными таблицами, содержащими их характеристики.

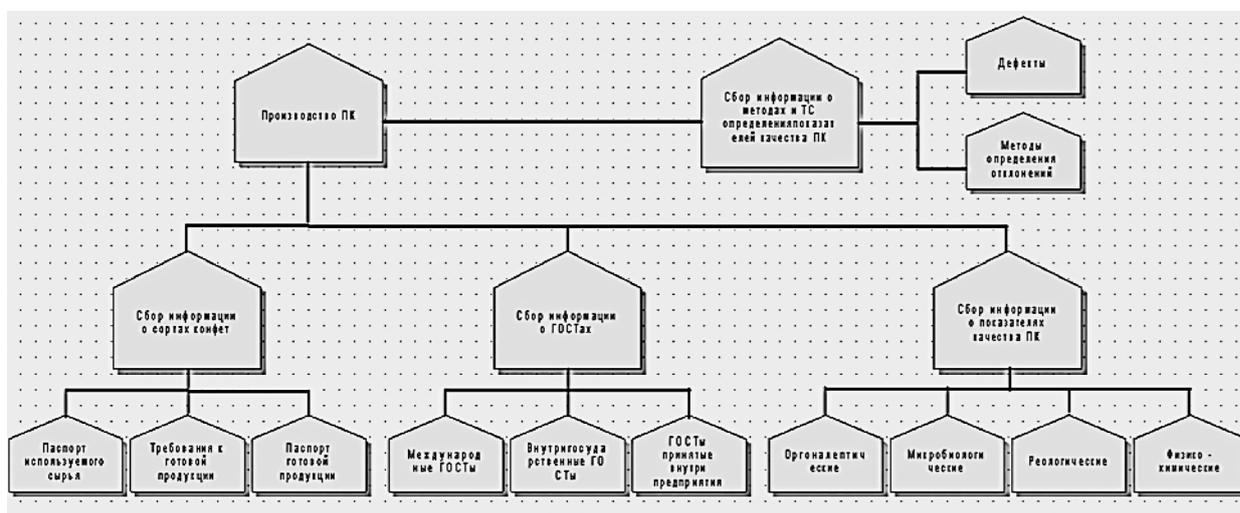


Рисунок 5.3. Модель-дерево целей БД системы управления качеством халвы

Для создания БД ИАСУКХ были использованы результаты проведенных нами исследований ТП производства халвы. На рисунке 5.4 представлены существующие взаимосвязи в БД, что позволяет автоматизировать обработку данных при реализации ИАСУКХ.

Построенная БД может функционировать самостоятельно или быть интегрированной в прикладные программы проектирования ИАСУКХ.

Внедрение единой базы БД, интегрирующей разрозненные данные, в ИАСУКХ позволит специалистам гибко вносить изменения в имеющиеся типовые методики расчета, а также давать рекомендации по контролю свойств и характеристик сырья, полуфабрикатов и готовой халвы в целях выявления

причин снижения качества производимых конфет и возникновения дефектов в режиме реального времени.

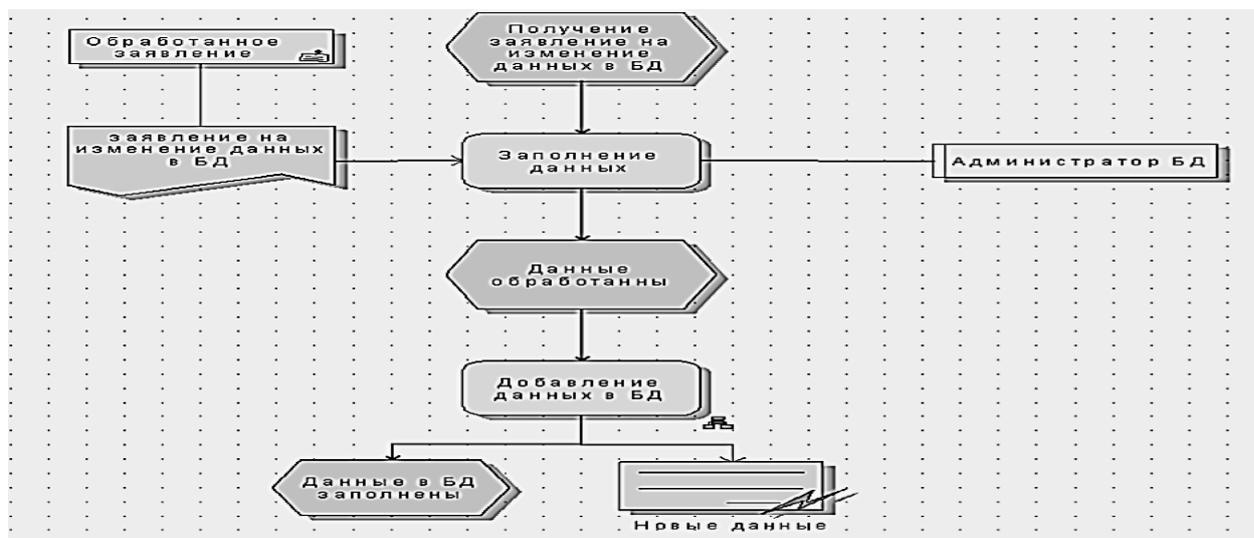


Рисунок 5.4. Диаграмма изображения существующих в БД взаимосвязей

Разработанная специализированная БД ИАСУКХ является единой информационной средой, осуществляющей информационное обеспечение контроля органолептических показателей качества халвы.

Предусмотрены три категории пользователей и соответствующие им виды санкционированного доступа к информации в БД: 1) разработчики ПО, связанного с БД – открыт формат данных, разрешено добавление в БД новой информации и удаление старой; 2) пользователи, использующие БД – допускается добавление и удаление данных; 3) пользователи БД в качестве информационно-поисковой системы не имеют возможности самостоятельно изменять содержимое БД.

Как видно из рисунка 5.2, организации информационного обеспечения ИАСУКХ кроме базы данных (БД), включает также БЗ (базу знаний), представляющую собрание моделей, правил и данных для решения сложных задач в области управления качеством пищевых масс. БЗ являются основой ИАСУКХ.

При отладке БЗ ИАСУКХ 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 ИАСУКХ и способствует эффективному процессу интеграции компонентов. Знания в ИАСУКХ предлагается представить в виде фактов и правил. Структура базы знаний представлена на рисунке 5.5.



Рисунок 5.5 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.

### 5.3.2. Математическая инфраструктура обеспечения интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы

Для обеспечения математической инфраструктуры интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы была составлена

схема решения первоочередных задач моделирования и оптимизации в управлении качеством халвы (рисунок 5.6).



Рисунок 5.6 Схема решения первоочередных задач моделирования и оптимизации в управлении качеством халвы

Показана первоочередная необходимость создания единого информационного пространства для описания всех этапов производства халвы математическими моделями, а также моделирования всего производства. Результатом таких разработок является появление множества производственных маршрутов производства халвы, определенных с учетом выбранного критерия оптимизации (стоимость производства халвы, времени, качества и других критериев).

Для решения описанной задачи необходимо:

- построения моделей качества на каждом этапе производства халвы (что было сделано нами в 3 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 3 главе).

Для решения вопросов, связанных с выбором методов оптимизации и определения весовых коэффициентов математических моделей качества

получаемого сырья, полуфабрикатов и готовых конфет халвы использовались сведения, предоставленные предприятиями кондитерской промышленности.

### 5.3.3. Программная инфраструктура обеспечения интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы

Программная инфраструктура обеспечения интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы, представленная на рисунке 5.7, представляет собой совокупность инструментальных средств, которые обеспечивают необходимое качество готовой халвы и выполняет следующие функции:

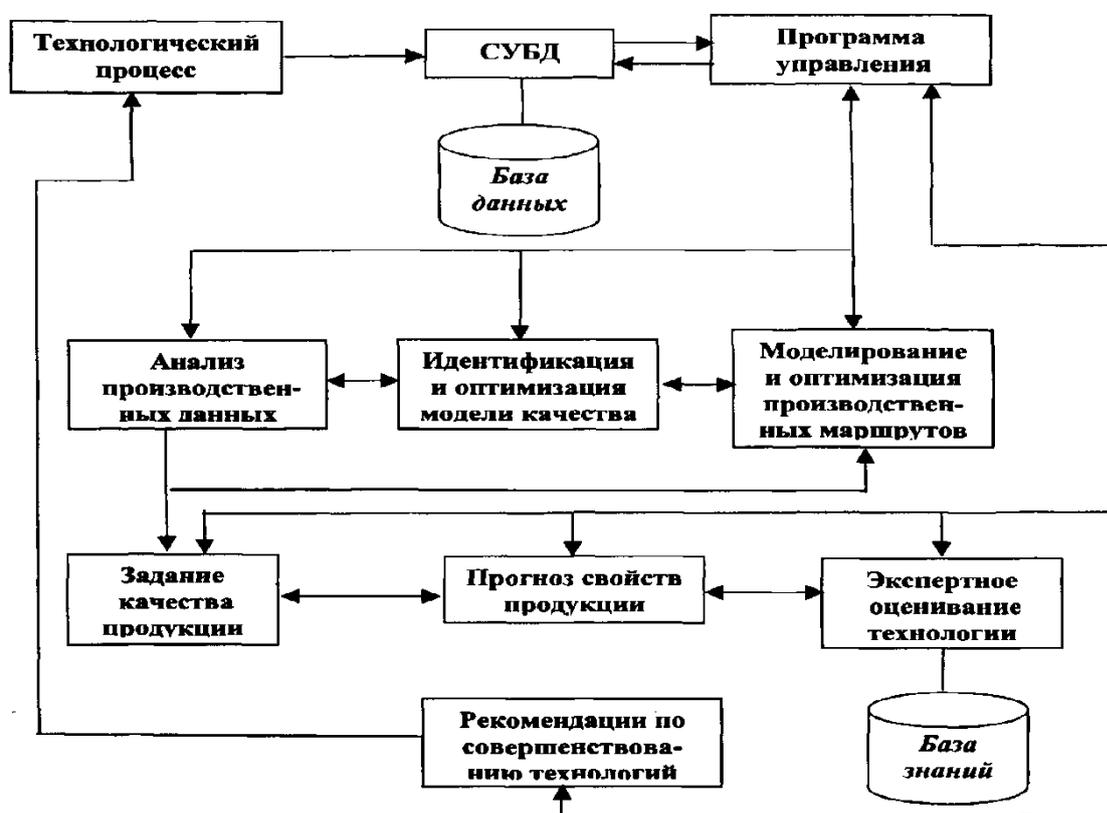


Рисунок 5.7 Программная инфраструктура обеспечения ИАСУ КХ

- Исследование полученных производственных показателей.
- Моделирование схем производства халвы и выбор из них наиболее рациональной.

- Идентификация разработанных математических моделей всех этапов производства халвы и оптимизация технологических и режимных параметров исследуемого производства.
- Прогноз изменения качественных показателей халвы при варьировании технологических условий обработки полуфабриката.
- Возможность четкого экспертного оценивания технологических и режимных параметров линии производства халвы на основе предварительной обработки знаний экспертов и получение результатов прогноза качества готовых кондитерских изделий.

Анализ полученных данных позволяет получить от ИАСУКХ экспертное заключение и прогноза качества выпускаемых конфет, а также получить рекомендации по совершенствованию производства халвы.

Структура программного обеспечения информационной поддержки интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы представлено на рисунке 5. 8.

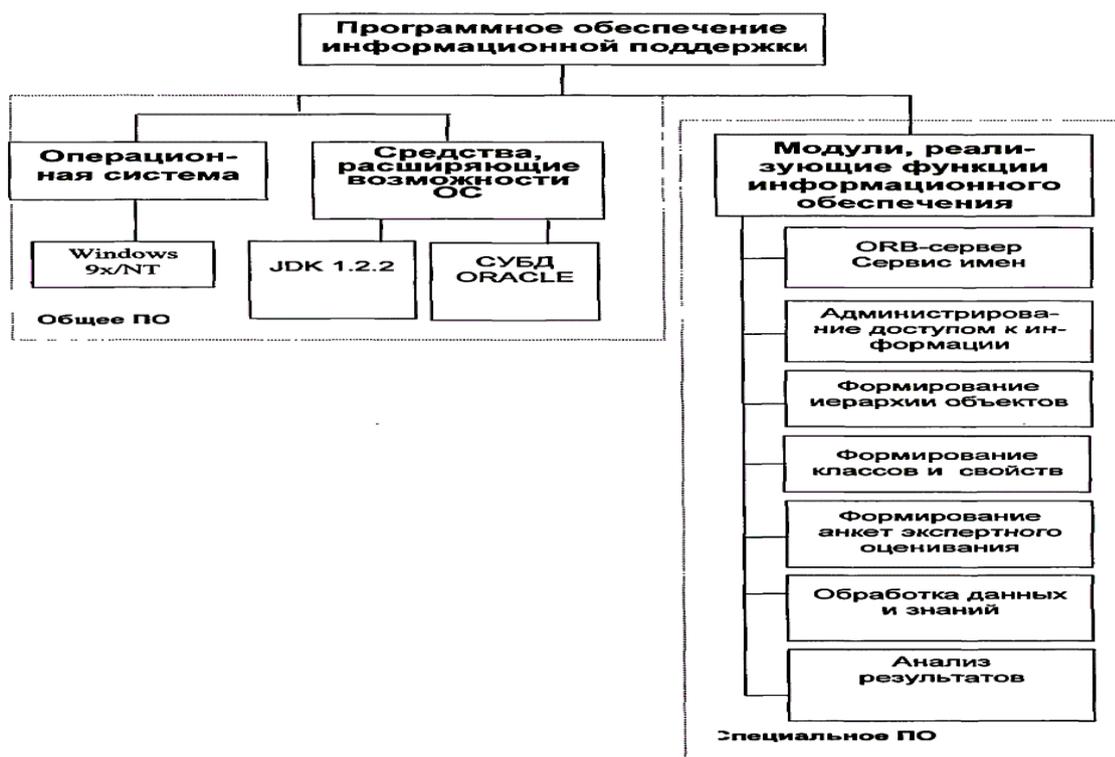


Рисунок 5.8 Структура программного обеспечения информационной поддержки интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы

Основные функции данной структуры: прием данных от удаленных пользователей и передача им результатов обработки данных знаний.

Структура программной реализации математического обеспечения ИАСУКХ (рисунок 5.9) имеет модульную структуру и дает возможность контролировать, прогнозировать и управлять качеством производства халвы на всех этапах ее производства за счет расчета модулями оптимальных маршрутов производственной сети, структурной и параметрической идентификация всех процессов производства халвы и оптимизации моделей качества сырья, полуфабрикатов и готовых кондитерских изделий.

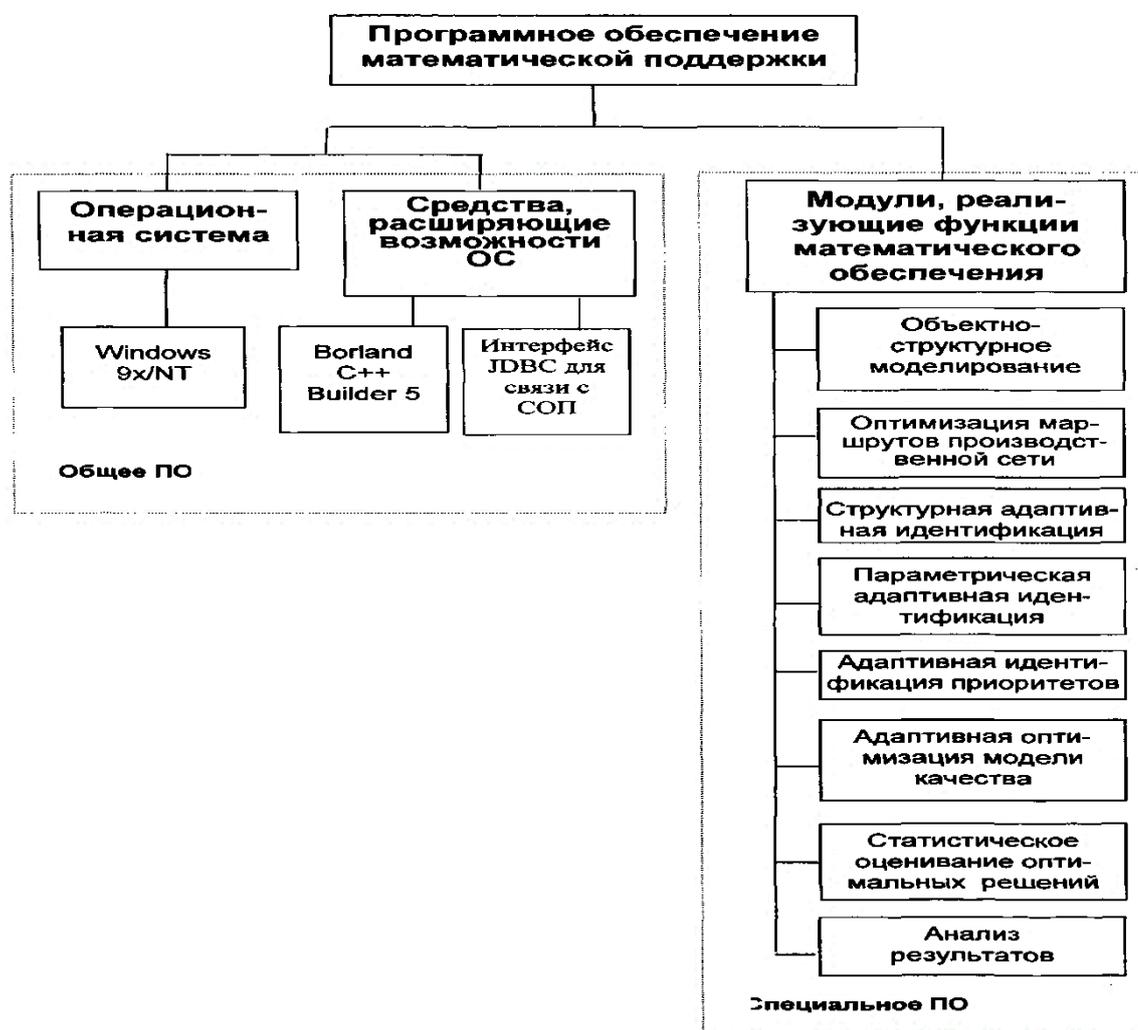


Рисунок 5.9 Структура программной реализации математического обеспечения ИАСУКХ

### **5.3. Основные этапы методики принятия решений о качестве готовых изделий в процессе производства халвы**

Основными этапами методики принятия решений о качестве готовых изделий являются:

1 этап. Постановка задачи.

На начальном этапе необходимо четко сформулировать задачу и сформулировать требования к разрабатываемой интеллектуальной АСУКХ.

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 интеллектуальной АСУКХ. Она необходима для уточнения процессов, связанных с производством подсолнечной халвы. 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 показателей на качество готового продукта используется интеллектуальный анализ данных.

4 этап. Формализация ИАСУКХ

Этап формализации интеллектуальной АСУКХ 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. Реализация ИАСУКХ

Реализация интеллектуальной АСУКХ включает в себя разработку методов принятия решений о качестве готовых изделий в процессе производства халвы с использованием онтологии, а также механизмов поиска в ней. 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 АСУКХ.

6. Стадия внедрения подразумевает внедрение интеллектуальной ИАСУКХ на кондитерском предприятии, производящем подсолнечную халву.

7. Далее производится оценка эффективности внедрения ИАСУКХ.

### 5.5. Подбор технических средств для реализации ИАСУКХ

Для практического построения разработанной ИАСУКХ был выбран контроллер CP1EE14DRA фирмы Omron - это модульный программируемый контроллер, предназначенный для построения систем автоматизации низкой и средней степени сложности. Модульная конструкция, работа с естественным охлаждением, возможность применения структур локального и распределенного ввода-вывода, широкие коммуникационные возможности, множество функций, поддерживаемых на уровне операционной системы, удобство эксплуатации и обслуживания обеспечивают возможность получения рентабельных решений для построения систем автоматического управления в различных областях промышленного производства. Также возможен вариант использования любого другого ПЛК, аналогичного по характеристикам, мощности и надежности.

Для ввода данных в ручном режиме необходимо выбрать интерфейс ввода данных и определиться с автоматизированным рабочим местом (АРМ) оператора, который должен осуществлять контроль значений технологических параметров при производстве подсолнечной халвы, 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 предъявляются 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.

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, оснащенный мощным процессором (например, IntelCorei7), 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 [37].

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 ПК.

Резюмируя вышеизложенное, подчеркнем, что ИАСУКХ 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 ИАСУКХ.

*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 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 ПАК, позволяющий осуществить проектирование и

функционирование НСМ типа многослойный персептрон, которая является ключевым элементом для автоматического контроля органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых конфет халвы.

*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 халвы, являются модули вывода программируемых логических контроллеров. Информационный сигнал, поступающий от интеллектуального модуля 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 ИАСУКХ для автоматического управления качеством и других кондитерских изделий. Для этого потребуются проведение ряда экспериментальных работ по разработке структурных, ситуационных и математических моделей и их адаптации под конкретный вид продукции.

## **5.6. Выводы по 5 главе**

В пятой главе представлены технические решения для реализации интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы (ИАСУКХ) в процессе производства. Показаны основные задачи ИАСУКХ и общие требования к разрабатываемой системе. Даны основные этапы ее реализации.

Разработана обобщенная функциональная структура ИАСУКХ. Проработана методология управления качеством в условиях многоэтапного производства халвы.

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

Представлен состав основных элементов БД ИАСУКХ.

Получена база знаний ИАСУКХ.

Разработаны основные этапы методики принятия решений о качестве готовых изделий в процессе производства халвы.

Для реализации интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы осуществлен подбор необходимых технических средств.

Представленная интеллектуальная автоматизированная система управления качеством халвы с определенной корректировкой может быть адаптирована под управление качеством других линий кондитерского производства.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Основные результаты:

1. Исследован и проанализирован технологический процесс производства халвы в качестве объекта автоматизации. Выявлены, систематизированы и проанализированы особенности исследуемого процесса, представлено описание основных стадий и материальных потоков при производстве халвы.

2. Проведена систематизация основных операций процесса производства халвы и показаны факторы, определяющие эффективность всех стадий и производства в целом.

3. Разработана схема влияния исходного сырья, промежуточных операций на качество готовой халвы на всех операциях производства.

4. Представлена функционально – структурная схема формирования качества с указанием необходимых точек контроля и регулирования. Обоснованы показатели качества сырья, оказывающие наибольшее влияние на качество готовых конфет халвы: коэффициент извлечения примеси и внешний вид семян подсолнечника: размер, цвет, состояние поверхности, целостность.

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

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

7. Проведен анализ ТП производства халвы методом мультиагентного имитационного моделирования с использованием ПО AnyLogic. Проведены экспериментальные исследования и разработаны имитационные, ситуационные,

параметрические и математические модели основных этапов производства халвы, что послужило теоретической основой создания интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы в процессе производства. Осуществлен выбор и проведен анализ основных органолептических показателей качества.

8. Разработан модуль (программно-аппаратный комплекс) автоматического контроля в потоке органолептических показателей качества сырья с использованием интеллектуальных технологий. Предложен метод и способ контроля коэффициента извлечения примесей семян подсолнечника после процесса сепарирования на основе СТЗ с использованием сверточной нейронной сети для контроля примесей в сырье. Разработан алгоритм распознавания СТЗ внешнего вида семян подсолнечника с использованием нейросетевых технологий. Разработано программное обеспечение автоматического контроля в потоке этих органолептических показателей качества. Представлено техническое обеспечение СТЗ.

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

10. Разработаны с использованием интеллектуальных технологий функциональные схемы автоматизации основных стадий ТП производства глазированной подсолнечной халвы с реализацией новых решений по автоматизации контроля органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции.

11. Созданы база данных и база знаний интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы. Разработана схема интегрированного использования БД и БЗ.

12. Разработаны основные виды обеспечения ИАСУКХ: информационное, математическое и программное.

13. Спроектирована архитектура ИАСУКХ, обеспечивающая получение данных в потоке о показателях качества и на этом основании принимающее решение об управлении процессом производства халвы.

14. На базе нейросетевого регулятора разработана функциональная структура ИАСУКХ с использованием гибридных интеллектуальных технологий.

15. Для реализации интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы осуществлен подбор необходимых технических средств.

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

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ

1. АИС – автоматизированная информационная система
2. АСУ – автоматизированная система управления
3. БД – база данных
4. БЗ – база знаний
5. ИАСУКХ - интеллектуальная автоматизированная система управления качеством халвы
6. ИАСУТП - интеллектуальная автоматизированная система управления технологическим процессом
7. ИИ - искусственный интеллект
8. ИИС - интеллектуальные информационные системы
9. ИМ - имитационная модель
10. ИНС - искусственная нейронная сеть
11. ИС - информационные системы
12. ИСУ - интеллектуальные системы управления
13. НСТ – нейросетевые технологии
14. ОУ – объект управления
15. ПЛК – программируемый логический контроллер
16. ПО – программное обеспечение
17. ППП – пакет прикладных программ
18. ПХ – подсолнечная халвы
19. САУ – системы автоматического управления
20. СТЗ – система технического зрения
21. СУБД - система управления базами данных
22. ТП – технологический процесс
23. ФСА – функциональная схема автоматизации
24. ФСС – функционально – структурная схема
25. ЭС – экспертная система

## ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ РАБОТЫ

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

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

3. Благовещенский В.Г и др. Обзор используемых на пищевых предприятиях в АСУТП рабочих станций, операторских пультов и перспективы их применения /Благовещенский И.Г., Карелина Е.Б., Петряков А.Н., Фомушкин В.И., Благовещенский В.Г.//В сборнике научных докладов II международной научно- практической конференции «Автоматизация и управление технологическими и бизнес- процессами в пищевой промышленности. М.: ИК МГУПП. 2016. С. 16 – 20.

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

5. Благовещенский В.Г. и др. Разработка интеллектуальных аппаратно- программных комплексов мониторинга процессов сепарирования дисперсных пищевых масс на основе интеллектуальных технологий/ Крылова Л.А., Благовещенский В.Г., Татаринев А.В.//В книге: Развитие пищевой и

перерабатывающей промышленности России: кадры и наука. М.: ИК МГУПП. 2017. С.199-201.

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

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

8. Благовещенский В.Г. и др. Задача оценки степени готовности шоколадных масс к формованию/ Благовещенский В.Г., Благовещенская М.М., Крылова Л.А., Ионов А.В.// Сборник материалов XV международной научной конференции студентов и молодых ученых «Живые системы и биологическая безопасность населения». М.: ИК МГУПП. 2017. С. 108-112.

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

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

11. Благовещенский В.Г. и др. Автоматизация процесса приготовления помадного сиропа/ Благовещенский В.Г., Никитушкина М.Ю.// В книге: Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности России: кадры и наука. М.: ИК МГУПП. 2017. С. 202-205.
12. Благовещенский В.Г. и др. Применение метода объектно-ориентированного программирования для контроля показателей качества кондитерской продукции /Петряков А.Н., Благовещенская М.М., Благовещенский В.Г., Крылова Л.А.// Кондитерское и хлебопекарное производство. 2018. № 5-6 (176). С. 21-23.
13. Благовещенский В.Г. и др. Автоматизация процесса приготовления сахарного сиропа/ Благовещенский В.Г., Крылова Л.А., Никитушкина М.Ю. // Сборник научных трудов I научно-практической конференции с международным участием «Передовые пищевые технологии: состояние, тренды, точки роста». М.: ИК МГУПП. 2018. С. 663-667.
14. Благовещенский В.Г. и др. Исследования показателей качества помадного сиропа в процессе охлаждения / Крылова Л.А., Благовещенский В.Г., Никитушкина М.Ю.// Материалы Конференции с международным участием «Современное состояние и перспективы развития упаковки в пищевой промышленности». М.: ИК МГУПП. 2018. С. 150-155.
15. Благовещенский В.Г. и др. Автоматизация сироповарочной станции непрерывного действия / Крылова Л.А., Благовещенский В.Г., Никитушкина М.Ю. // Материалы Конференции с международным участием «Современное состояние и перспективы развития упаковки в пищевой промышленности». М.: ИК МГУПП. 2018. С. 141-144.
16. Благовещенский В.Г. и др. Автоматизация стадий приготовления помадного сиропа при производстве кондитерских изделий / Благовещенский В.Г., Никитушкина М.Ю., Крылова Л.А. // Материалы Конференции с международным участием «Современное состояние и перспективы развития упаковки в пищевой промышленности». М.: ИК МГУПП. 2018. С. 126-129.

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

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

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

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

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

22. Благовещенский В.Г. и др. Алгоритмическое обеспечение автоматизированной системы хранения и созревания сыпучих пищевых

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

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

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

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

26. Благовещенский В.Г. и др. Внедрение цифрового двойника управления в технологическое производство /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.

27. Blagoveschensky I.G., Petryakov A.N., Blagoveschensky V.G. Using depth map algorithms to improve the quality of object identification on digital stereo images // Journal of Physics: Conference Series. Сер. "International Meeting - Fundamental and Applied Problems of Mechanics" 2019. С. 012021.

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

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

30. Благовещенский В. Г. и др. Использование методов визуальной корреляции для анализа данных от различных источников/ Благовещенский В. Г., Благовещенская М. М., Бесфамильная Е. М. // Сборник научных статей II международной научно-практической конференции «Цифровизация агропромышленного комплекса». Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ». 2020. Том I. С.87-92.

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

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

33. Blagoveshchenskiy I.G., Blagoveshchenskiy V.G., Besfamilnaya E.M., Sumerin V.A. Development of databases of intelligent expert systems for automatic

control of product quality indicators // Journal of Physics: Conference Series. Ser. "Fundamental and Applied Problems of Mechanics, FAPM 2019" 2020. С. 012019.

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

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

36. Благовещенский В.Г. и др. Разработка структурно-параметрической, математической и ситуационной моделей сепарирования семян подсолнечника/ В.Г. Благовещенский, А.Е. Краснов, И.Г. Благовещенский, М.Ю. Музыка, В.В. Головин, М.М. Благовещенская// Научный журнал НИУ ИТМО. Серия "Процессы и аппараты пищевых производств", №3 (49). С.40-52.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Австриевских А. Н. Управление качеством на предприятиях пищевой и перерабатывающей промышленности: учебник / А. Н. Австриевских [и др.]. — 2-е изд., испр. и доп. — Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2007. — 268 с.
2. Адилов Р. М. Исследование и разработка методов анализа многоградационных растровых изображений в системах технического зрения [Текст]: дис.... канд. техн. наук : 05.13.17/ Пенза, 2005.
3. Андреев Е. SCADA-системы: взгляд изнутри – М.: Москва, 2004.
4. 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.
5. 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.
6. Балыхин М.Г., Борзов А.Б., Благовещенский И.Г. Методологические основы создания экспертных систем контроля и прогнозирования качества пищевой продукции с использованием интеллектуальных технологий. Монография. М.: Франтера, 2017. 394 с.
7. Барский, А. Б. Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений [Текст] / А. Б. Барский. — М. : Финансы и статистика, 2004. — 176 с. — ISBN 5-279-02757-X.
8. 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 госун-та, 2006. — 136 с.
9. Битюков В.К., Хвостов А.А., Ребриков Д.И. Экспертная система определения цветовых характеристик хлебобулочных изделий

- //Межвузовский сборник научных трудов «Системы управления и информационные технологии». №4.1 Воронеж, 2008 г. с. 138 – 141.
10. Благовещенская М.М. Основы стабилизации процессов приготовления многокомпонентных пищевых масс: монография. – М., 2009. – 281 с.
  11. 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.
  12. Благовещенская М. М., Благовещенский И.Г., Назойкин Е.А. Методика автоматической оценки качества пищевых изделий на основе теории искусственных нейронных сетей. // «Пищевая промышленность», №2, 2015. – с. 42 - 45.
  13. 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.
  14. Благовещенская М.М., Семина Н.А., Благовещенский И.Г., Савостин С.Д. Использование цифровой видеокамеры в качестве интеллектуального датчика системы автоматического регулирования процесса формирования гранулированных комбикормов. // «Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий», №2, 2014. – с. 48 - 55 (общ. объем 0,3 п.л.).
  15. 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», №8, 2012. – с. 50 - 52 (общ. объем 0,3 п.л.).
  16. Благовещенский В.Г., Благовещенская М.М. Разработка экспертной системы контроля качества в процессе приготовления халвы. // Живые системы и биологическая безопасность населения. Сборник материалов XV

- международной научной конференции студентов и молодых ученых. 2017. С. 132-137.
17. Благовещенский В. Г., Благовещенская М. М., Бесфамильная Е. М. 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.
  18. Благовещенский В.Г., Благовещенская М.М., Крылова Л.А., Ионов А.В. Задача оценки степени готовности шоколадных масс к формованию // Сборник научных докладов Живые системы и биологическая безопасность населения. Сборник материалов XV международной научной конференции студентов и молодых ученых. 2017. С. 108-112.
  19. Благовещенский В.Г., Благовещенский И.Г., Назойкин Е.А., Носенко А.С. Автоматизация процесса очистки семян подсолнечника при производстве халвы // Автоматизация и управление технологическими и бизнес-процессами в пищевой промышленности 2016. С. 58-62.
  20. Благовещенский В.Г., Благовещенский И.Г., Назойкин Е.А., Савельев В.О. Разработка структурно-параметрической модели процесса приготовления помадного сиропа при производстве халвы // Автоматизация и управление технологическими и бизнес-процессами в пищевой промышленности. 2016. С. 86-91.
  21. Благовещенский В.Г., Крылова Л.А., Максимов А.С. Разработка программно-аппаратного комплекса мониторинга производства халвы. Книга - Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности России: кадры и наука. 2017. С. 196-199.
  22. Благовещенский В.Г., Крылова Л.А., Никитушкина М.Ю. Автоматизация процесса приготовления сахарного сиропа // Передовые пищевые технологии: состояние, тренды, точки роста. Сборник научных трудов I научно-практической конференции с международным участием. 2018. С. 663-667.

23. Благовещенский В.Г., Никитушкина М.Ю. Автоматизация процесса приготовления помадного сиропа. Книга - Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности России: кадры и наука. 2017. С. 202-205.
24. Благовещенский В.Г., Никитушкина М.Ю., Крылова Л.А. Автоматизация стадий приготовления помадного сиропа при производстве кондитерских изделий // Современное состояние и перспективы развития упаковки в пищевой промышленности. Материалы Конференции с международным участием. 2018. С. 126-129.
25. Благовещенский В.Г., Новицкий В.О., Крылова Л.А., Никитушкина М.Ю. Постановка задачи создания интеллектуальной автоматизированной системы управления процессом производства халвы // Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности. Сборник материалов конференции. 2019. С. 21-31.
26. 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.
27. Благовещенский И. Г., Благовещенский В. Г., Назойкин Е. А., Петряков А. Н. 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.
28. 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.
29. 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 // Общеуниверситетская студенческая конференция студентов и молодых ученых "День науки". Сборник материалов конференции: в 6 частях. 2017. С. 258-263.
30. Благовещенский И.Г., Троицкий А.К. Формализация исходных изображений с целью выделения информации для обработки цифровых видеок 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.
31. 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.
32. Борзенко И.М. Адаптация, прогнозирование и выбор решений в алгоритмах управления технологическими объектами. – М.: Энергоатомиздат,1984. – 144 с.
33. 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.

34. Буряк Д. Ю. Метод автоматизированного конструирования процедур анализа изображений с использованием генетических алгоритмов: Дис... канд. физ.-мат. наук: 05.13.11/ М., 2004
35. Бутковский А.Г. Методы управления в системах с распределенными параметрами. - М.: Наука, 1975.
36. Волчихин, В. И. Основы обучения искусственных нейронных сетей: учеб. пособие / В. И. Волчихин, А. И. Иванов ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Пенз. гос. ун-т. — Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2004. — 112с.
37. Вороновский, Г. К. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности : монография / Г. К. Вороновский — Харьков : Основа, 1997. — 111 с.
38. Восьмирко, С. О. Разработка математического и программного обеспечения среды моделирования нейронных сетей для решения задач прогнозирования : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.11— М., 2004. — 158 с.
39. Втюрин В. А. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. Основы АСУТП : учеб. пособие / В. А. Втюрин. — СПб: СПбГЛТА, 2006. — 152с.
40. Галушкин А. И. Нейронные сети: основы теории: монография / А. И. Галушкин. — М. : Горячая линия - Телеком, 2012. — 496 с.
41. Гилл Ф., Мюррей У., Райт М. Практическая оптимизация. – М.: Мир, 1985. - 509 с.
42. Гитис Л.Х. Кластерный анализ в задачах классификации, оптимизации и прогнозирования. – М.: Издательство Московского государственного университета, 2001. – 104 с.
43. Гнеушев А. Н. Математическое моделирование выделения признаков видеоизображения в реальном масштабе времени: Дис. ... канд. физ.-мат. наук : 05.13.18/ Прософт. – М., 2006.
44. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. – М.: "Техносфера", 2006. – 616 с.

45. 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.
46. Горбань А.Н. Обучение нейронных сетей. – М.: СП “ParaGraph”, 1990.
47. ГОСТ 4570 – 93 «Конфеты. Общие технические условия» ( с 01.08.97 ИУС №4/97).
48. ГОСТ 5897-90 «Изделия кондитерские. Методы определения органолептических показателей качества».
49. ГОСТ 6502-94. Халва. Общие технические условия.
50. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. – М.: Горячая линия-телеком, 2009.
51. 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.
52. Дикий Б.Ф. Автоматический контроль состава и свойств пищевых продуктов – М.: Пищевая промышленность, 1988. – 218 с.
53. Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления: Перевод с английского – Лаборатория базовых знаний, 2002.
54. Драгилев А.И., Маршалкин Г.А. Основы кондитерского производства. Учебник для студентов высших учебных заведений. –М.: ДеЛи Принт, 2005. – 532 с.
55. Заенцев, И. В. Нейронные сети: основные модели / И. В. Заенцев — Воронеж, 1999. — 76 с.
56. 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. — 179с.

57. 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 (ЦВК) //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. 215 – 218.
58. Ивашкин Ю.А. Системный анализ и исследование операций в прикладной биотехнологии. Учебное пособие. М.: МГУПБ, 2005. – 196.
59. Ивашкин Ю.А. «Агентные технологии и мультиагентное моделирование систем». Учебное пособие. М.: МФТИ, 2013. – 268.
60. Карелина Е.Б., Благовещенская М.М., Благовещенский В.Г., Клехо Д.Ю., Благовещенский И.Г. Интеграция адаптивного управления в технологические процессы пищевой отрасли // Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности. Сборник материалов конференции. 2019. С. 81-89.
61. 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.
62. Краснов А.Е., Красуля О.П., Большаков О.В., Шленская Т.В. Информационные технологии пищевых производств в условиях неопределенности (системный анализ, управление и прогнозирование с элементами компьютерного моделирования). – М.: ВНИИМП, 2011. – 496 с.
63. Краснов А.Е. и др. Видеоспектрометр для экспресс- контроля пищевых сред и готовых продуктов. Монография. Издательство: Лань. 2019. 143 с.

64. Красуля О.Н., Николаева С.В., Краснов А.Е., Шумский Ю.А. Новый взгляд на комплексные пищевые добавки с позиции теории систем. Мясная индустрия. 2014. № 10. С. 46-48.
65. 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.
66. Кротов В.Ф., Гурман В.И. Методы и задачи оптимального управления. – М.: Наука, 1973. – 446 с.
67. 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.
68. Крылов А.В. О проблемах организации экспертизы. // Проблемы полиграфии и издательского дела. – 2006. - №4. – С.117- 122.
69. 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.
70. 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.
71. Крылова Л.А., Благовещенский В.Г., Татаринцов 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.

72. 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.
73. Лазарев, В.М. Нейросети и нейрокомпьютеры: монография / В. М. Лазарев, А. П. Свиридов. — М. :МИРЭА, — 2011. — 131 с.
74. Марголин Е. Методика обработки данных экспертного опроса. // Полиграфия . – 2006. - №5 - С. 14 – 16.
75. 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.
76. Машины и аппараты пищевых производств. Учебник для студентов высш. учеб. заведений. В 3 кн. Кн. 1/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.
77. 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.
78. Методы компьютерной обработки изображений / Под ред. В.А. Сойфера. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 784 с.
79. 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.
80. Наджафи М. М. Проекционный метод решения некоторых задач обработки и анализа изображений: Дис.... канд. физ.-мат. наук : 05.13.18. - М., 2004. – 148 с.
81. Нестеров А.Л. Проектирование АСУТП. Методическое пособие. Книга 1 – СПб.: Деан, 2006.

82. 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.
83. Николаев, А.Б. Нейросетевые методы анализа и обработки данных: учеб. пособие / А. Б. Николаев, И. Б. Фоминых. - М. : МАДИ (ГТУ), 2003. - 95 с.
84. 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», №10 (153), 2014. – с. 56 - 59
85. Олефирова А. П. Идентификация пищевых продуктов (органолептическая оценка) при обязательной сертификации. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине "Сертификация пищевых продуктов"— Улан-Удэ : ВСГТУ, 2002. — 27 с.
86. Олссон Г., Пиани Д. Цифровые системы автоматизации и управления – СПб.: Невский диалект, 2001.
87. Панищев В. С. Методы, высокопроизводительные алгоритмы и устройства обработки изображений с использованием нейроподобных структур: Дис. ...канд. техн. наук: 05.13.05 / Курск, 2005, 148 с.
88. Петров А.Ю., Благовещенская М.М., Благовещенский В.Г., Ионов А.В., Благовещенский И.Г. Главные принципы при построении системы компьютерного зрения в хлебопекарной промышленности // Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности. Сборник материалов конференции. 2019. С. 121-126.
89. 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.
90. 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.
  91. Подлегаева, Т. В. Методы исследования свойств сырья и продуктов питания : учеб. пособие / Т. В. Подлегаева, А. Ю. Просеков. — Кемерово : КемТИПП, 2004. — 101 с.
  92. Пожарникова, Е. Н. Сенсорный анализ продовольственных товаров: курс лекций / Е. Н. Пожарникова, Н. А. Феоктистова, Д. А. Васильев. — Ульяновск : УГСХА, 2008. — 87 с.
  93. Ребриков Д.И. Автоматизированная система определения равномерности окраски поверхности // Межвузовский сборник научных трудов «Системы управления и информационные технологии». №2.2 Воронеж, 2009 г. с. 285 – 288.
  94. Рейер И. А. Методы анализа формы изображений на основе непрерывного гранично-скелетного представления: Дис. ... канд. техн. наук: 05.13.11/ М., 2004. – 168 с.
  95. Родина Т.Г., Вукс Г.А. Дегустационный анализ продуктов. – М.: Колос, 1994. – 128 с.
  96. 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.
  97. Савостин С.Д. и др. Использование цифровой видеокамеры в качестве интеллектуального датчика системы автоматического регулирования процесса формования гранулированных комбикормов / Благовещенская

- М.М., Семина Н.А., Савостин С.Д.// «Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий», №2, 2014. – с. 48 - 56.
98. Сорокопуд, А. Ф. Технологические линии и специальное оборудование для производства пищевых продуктов: учеб. пособие для студ., обуч. по напр. 260600 "Пищевая инженерия" / А. Ф. Сорокопуд, С. Д. Руднев, В. В. Сорокопудэ. — Кемерово: КемТИПП, 2006. — 168 с.
99. 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.
100. Форсайт Д.А., Понс Ж. Компьютерное зрение. Современный подход. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2004. – 928 с.
101. Шаверин, А. В. Автоматизация контроля показателей вкуса шоколадных изделий : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.06 / Шаверин Андрей Вениаминович. — М., 2009. — 148 с.
102. Шаверин А.В., Благовещенская М.М., Благовещенский И.Г. Автоматизация контроля органолептических показателей качества шоколадных изделий // 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. 209 – 212.
103. Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 752 с.
104. Шаулина Л. П. Контроль качества и безопасности пищевых продуктов и продовольственного сырья [Текст] : учеб. пособие / Л. П. Шаулина, Л. Н. Корсун. — Иркутск : Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2011. — 111 с.
105. Шторх Л.В. Совершенствование технологии хлеба для школьного питания с применением автоматизированной системы контроля цвета изделий. : дис.

- ... канд. техн. наук : 05.18.01 и 05.13.06 / Шторх Лариса Валеоьевна. — Воронеж, 2013. — 242 с.
106. Черных И. Simulink: среда создания инженерных приложений – М.:Диалог-МИФИ, 2003.
107. Яковлев А. В. Методы, модели и алгоритмы формирования и анализа изображений в системе контроля качества материалов и продукции машиностроительного предприятия: Дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01 / Прософт. – М., 2003. – 168 с.
108. 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. Ser. "Fundamental and Applied Problems of Mechanics, FAPM 2019" 2020. С. 012027.
109. 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. Ser. "Fundamental and Applied Problems of Mechanics, FAPM 2019" 2020. С. 012019.
110. 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.
111. Haykin S., Neural networks a Comprehensive Foundation, Second Edition – Prentice Hall, Inc.,1999.
112. Kohonen T., Huang T.S., Schroeder M.R. "Self-Organizing Maps"(Third edition), Springer, 2003.
113. Mahnke W OPC Unified Architecture – Springer-Verlag, 2009.
114. Legin A., Rudnitskaya A., Vlasov Yu. In: Integrated Analytical Systems, Comprehensive Analytical Chemistry. V. XXXIX. Ed. S. Alegret. Amsterdam: Elsevier, 2003.

115. Newton D. E. Food Chemistry - Facts On File, Inc., 2007.
116. Blagoveschensky I.G., Petryakov A.N., Blagoveschensky V.G. Using depth map algorithms to improve the quality of object identification on digital stereo images // Journal of Physics: Conference Series. Ser. "International Meeting - Fundamental and Applied Problems of Mechanics" 2019. C. 012021.
117. 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 научно технической продукции на кондитерских  
фабриках ООО «Объединенные кондитеры»**

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов диссертационной работы аспиранта ФГБОУ ВПО «МГУПП»  
Благовещенского В.Г. по теме «Интеллектуальная автоматизированная  
система управления качеством халвы с использованием гибридных методов и  
технологий»

Настоящий акт подтверждает, что основные результаты диссертационной работы аспиранта кафедры «Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами» МГУПП по специальности 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (пищевая промышленность)» Благовещенского В.Г. на тему «Интеллектуальная автоматизированная система управления качеством халвы с использованием гибридных методов и технологий» использованы в практической деятельности Холдинга «Объединенные кондитеры».

Разработанная интеллектуальная автоматизированная система управления качеством халвы, а также созданные в процессе выполнения диссертационной работы методы, модели, алгоритмы, структуры и программы прошли апробацию и были переданы для внедрения в кондитерский цех ОАО «Рот-Фронт» Холдинга «Объединенные кондитеры».

Директор департамента  
технической политики и инноваций  
УК «Объединенные кондитеры», к.т.н.

*Головин*

Головин В.В.

Подпись Головина В.В. заверяю:

*Заместитель начальника отдела кадров  
Олег Вадимович*



14.07.2021

Контактные данные:

Адрес: 115184, Москва, 2-й Новокузнецкий пер., 13/15, стр. 1  
Телефон: +7 (495) 221-91-46, вн.28-85  
Моб.: +7 (916) 101-47-65  
Эл. почта: Victor.Golovin@uniconf.ru

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

### Акт внедрения в учебный процесс результатов диссертационной работы

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по учебно-воспитательной работе

Профессор Бикбулатова А.А.



11.08.2021 2021 г.

#### АКТ О ВНЕДРЕНИИ

в учебный процесс кафедры «Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами» ФГБОУ ВО «МГУПП» материалов диссертационной работы Благовещенского Владислава Германовича по теме «Интеллектуальная автоматизированная система управления качеством халвы с использованием гибридных методов и технологий», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (пищевая промышленность)

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, кандидат технических наук, доцент Мокрушин Сергей Александрович, доцент кафедры АСУБП Ионов Андрей Викторович; кандидат технических наук, доцент кафедры АСУБП Карпов Александр Викторович, настоящим актом подтверждаем, что материалы диссертационной работы Благовещенского В.Г., связанные с разработкой и исследованием интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы 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 техни-

ческих системах», а именно:

- методика и этапы разработки интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством подсолнечной халвы 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 пищевых масс на примере производства подсолнечной халвы 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 халвы 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 халвы в процессе производства, создание концептуальной структурно- динамической модели этой системы;
- разработанный комплекс имитационных, структурно — параметрических, математических и ситуационных моделей основных этапов технологических процессов производства подсолнечной халвы;
- разработанные методы, способы, алгоритмы, математическое и программное обеспечение создания виртуальных и интеллектуальных датчиков автоматического контроля в потоке органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой халвы с использованием нейросетевых технологий и систем технического зрения;
- созданные функциональные схемы автоматизации всех этапов поточной линии производства халвы с внесением в них новых решений автоматического контроля в потоке органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции с использованием интеллектуальных технологий.
- разработанные методы формирования, обучения и адаптации базы данных (БД) и базы знаний (БЗ) для интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы;
- 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:

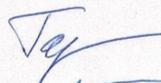
- Программирование и алгоритмизация
- Системы искусственного интеллекта
- Моделирование систем и процессов
- Программирование на языках высокого уровня
- Программное обеспечение систем управления
- Системный анализ и принятие решений
- Проектирование систем, основанных на знаниях
- Проектирование систем 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 техн. наук, профессор  
кафедры АСУБП



Гданский Н.И.

Доцент кафедры АСУБП



Ионов А.В.

Зам. заведующего кафедрой АСУБП,  
кандидат техн. наук, доцент



Мокрушин С.А.

Кандидат техн. наук, доцент  
кафедры АСУБП



Карпов А.В.