

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПИЩЕВЫХ
ПРОИЗВОДСТВ»**

На правах рукописи



КРЫЛОВА ЛАРИСА АЛЕКСАНДРОВНА

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ, МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ
КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ КЕФИРА**

Специальность 2.3.3 –

Автоматизация и управление технологическими процессами и
производствами (в пищевой промышленности)

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель
Заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор
Благовещенская Маргарита Михайловна

Москва – 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
ГЛАВА 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА КЕФИРА КАК ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ	16
1.1. Анализ технологического процесса производства кефира.....	16
1.2. Характеристика этапов, стадий и материальных потоков технологического процесса производства кефира.....	17
1.3. Состав и пищевая ценность кефира.....	20
1.4. Идентификация качества кефира.....	21
1.5. Показатели, формирующие качество кефира.....	24
1.5.1. Сырье, используемое для производства кефира.....	24
1.5.2. Параметры и режимы проведения процессов производства кефира....	26
1.6. Методы и средства контроля показателей качества кефира.....	28
1.6.1 Существующие методы и средства органолептического контроля показателей качества кефира.....	28
1.6.2. Контроль показателей качества кефира инструментальными методами	31
1.6.3. Существующие методы и средства микробиологического контроля показателей качества кефира.....	34
1.6.4. Выбор наиболее важных органолептических показателей качества, подлежащих автоматическому контролю при производстве кефира.....	37
1.7. Применение нейросетевых технологий для определения качества кефира.....	38
1.8. Использование системы компьютерного зрения для определения качества кефира	42
1.9. Выводы по 1 главе	44
ГЛАВА 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, МУЛЬТИАГЕНТНОЕ ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ	

ОСНОВНЫХ ЭТАПОВ ТП ПРОИЗВОДСТВА КЕФИРА.....	46
2.1. Обоснование потребности в имитационном моделировании производства кефира.....	46
2.2. Имитационное моделирование производства кефира на молочном предприятии.....	50
2.2.1. Структура производства кефира как логико-математического объекта имитационного моделирования	50
2.2.2. Описание среды разработки.....	55
2.2.3. Разработка информационно- аналитической мультиагентной системы имитационного моделирования производства молока – основного сырья производства кефира.....	55
2.2.3.1. Моделирование процесса приемки молока.....	56
2.2.3.2. Моделирование участков обработки, хранения и переработки молока.....	68
2.2.3.3. Разработка мультиагентной имитационной модели аппаратно- сырьевого цеха.....	83
2.2.4. Разработка мультиагентной имитационной модели производства кефира.....	85
2.2.4.1. Мультиагентная модель, имитирующая поведение молочного танка MilkTank	90
2.2.4.2. Мультиагентная модель, имитирующая работу гомогенизатора Homogenizer.....	93
2.2.4.3. Мультиагентная модель, имитирующая работу агента – пастеризатора Pasteurizer.....	94
2.2.4.4. Мультиагентная модель выработки закваски, имитирующая работу агента – Fermenter.....	94
2.2.4.5. Мультиагентная модель работы агента – MixTank, имитирующая работу оборудования для сквашивания кефира и его созревания.....	95
2.2.4.6. Мультиагентная модель работы агента – Packager, имитирующая работу участка розлива и упаковки кефира.....	98

2.2.4.7. Диаграммы статусов.....	99
2.2.4.8. Визуализация имитационной модели производства кефира.....	100
2.3. Экспериментальные исследования с модулями имитационной модели производства кефира.....	101
2.4. Разработка структурно – параметрических моделей основных стадий ТП производства кефира.....	108
2.4.1. Модели процесса приемки молока и подготовки его к производству кефира.....	110
2.4.2. Разработка структурно – параметрической модели процесса охлаждения молока.....	110
2.4.3. Модели процесса нормализации молока по жиру.....	112
2.4.4. Разработка структурно – параметрической модели процесса гомогенизации	115
2.4.5. Разработка структурно – параметрической модели процесса пастеризации.....	116
2.4.6. Разработка структурно – параметрической модели процессов заквашивания, сквашивания и созревания кефира.....	117
2.4.7. Модель процесса розлива кефира.....	126
2.5. Выводы по 2 главе	128
ГЛАВА 3. АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ОСНОВНЫХ ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА КЕФИРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	129
3.1. Возможность и технологии автоматического контроля основных органолептических показателей качества кефира.....	129
3.2. Автоматизация контроля в потоке внешнего вида и цвета кефира с использованием системы компьютерного зрения (СКЗ).....	133
3.2.1 Теоретические аспекты автоматизации контроля внешнего вида и цвета кефира с использованием СКЗ.....	133
3.2.2. Алгоритм проведения анализа и обработки изображений внешнего вида и цвета кефира.....	135

3.2.3. Выбор метода предобработки изображений различных видов кефира.....	144
3.2.4. Методика и алгоритмы обработки и анализа изображений внешнего вида и цвета кефира.....	149
3.2.5. Разработка программного комплекса для обработки изображений внешнего вида и цвета кефира.....	160
3.2.6. Модуль (программно- аппаратный комплекс) автоматического контроля внешнего вида и цвета кефира.....	166
3.2.7 Блок - схема алгоритма принятия решения на соответствие внешнего вида и цвета кефира эталонному значению.....	167
3.3. Автоматизация контроля в потоке вкуса кефира.....	169
3.3.1. Нейросетевая модель контроля вкуса кефира.....	170
3.3.2. Основные этапы решения задачи построения виртуального датчика автоматического контроля в потоке вкуса кефира.....	171
3.3.3. Модуль автоматического контроля в потоке вкуса кефира.....	176
3.4. Разработка устройства для автоматического контроля в потоке вязкости кефира	178
3.5. Система автоматического регулирования вязкости кефира.....	183
3.6. Выводы по 3 главе.....	184
ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ КЕ ФИРА.....	
4.1. Цели создания интеллектуальной адаптивной системы контроля и управления качеством кефира.....	186
4.2. Задачи интеллектуальной адаптивной системы контроля и управления качеством кефира.....	187
4.3. Свойства и структура интеллектуальной адаптивной системы контроля и управления качеством кефира (ИАСКУКК).....	188
4.4. Основные этапы построения и проектирования ИАСКУКК.....	189
4.5. Функциональная модель работы ИАСКУКК.....	192

4.6. Создание комплекса программного обеспечения (ПО) для расчета показателей качества кефира.....	196
4.7. Выводы по 4 главе.....	200
ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ.....	202
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ.....	205
ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ РАБОТЫ.....	206
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	214
Приложение 1. Акт о внедрении результатов работы в учебном процессе...	232
Приложение 2. Акт о внедрении результатов работы на молочном комбинате «Жуковомолоко».....	235
Приложение 3. Акт внедрения результатов диссертационной работы на молочном производстве «Гжельское подворье».....	236

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы

Молоко и молочные продукты относятся к группе продуктов повседневного потребления и сопровождают человека в течение всей его жизни – с первых дней появления на свет до глубокой старости. Они являются жизненно важными в рационе граждан Российской Федерации [1, 5, 12, 53].

Одним из самых востребованных кисломолочных продуктов является кефир [62]. Без этого напитка жизнь людей была бы неполноценной, так как основные белки, жиры, ферменты и другие составляющие содержатся как раз в данном кисломолочном продукте. Кефир обладает разносторонними биологическими и лечебными свойствами, очень полезен при малокровии, истощении организма, хронических колитах. Кефир обладает иммуностимулирующими особенностями [70,71]

В настоящее время кефир – это один из наиболее популярных в нашей стране отечественных кисломолочных напитков, который пользуется повышенным спросом у населения [111]. Этому способствует развитие интереса к диетическому и здоровому питанию. Растут объемы производства кефира. В 2020 году производство кефира выросло на 1,3% до 231,4 тыс. тонн по сравнению с аналогичным периодом 2019 года. Поэтому все более возрастают требования к повышению качества и конкурентоспособности этого полезного отечественного продукта питания.

В связи с увеличением спроса населения на этот кисломолочный напиток, производство кефира на предприятиях нашей страны систематически расширяется и влечет за собой необходимость внедрения новейших технологий.

Теоретические и практические основы в области исследований традиционных кисломолочных продуктов заложены в трудах Королевой Н.С., Гончаровой Г.С., Рожковой И.В., Семенихиной В.Ф., Виноградской С.Е., Ганиной В.И., Забодаловой Л.А., Тихомировой Н.А., Хамагаевой И.С., Хамнаевой Н.И., Khurana U.K., Robinson R. K., Tamirne A. Y. и др. [62, 93, 94, 98, 103,109, 110, 111]. Очень полезными и важными работами в этой области являются труды следующих отечественных и зарубежных ученых: Остроумова Л. А., Позняковского В.М., Липатова Н.Н., Галстяна А.Г., Шестакова С.Д., Красули О.Н.,

Покровского В.И., Радаевой И.А., Тихомировой Н.В., Рогова И.А., Крусъ Г.Н., Горбатова К.К., Шидловской В.П., Твердохлеба Г.В., Чекулаевой Л.В., Дунченко Н.И., Бредихина С.А., Степановой Л.И., Полянского К.К., Тёпела А., Rivas H., Fisher E., Bernard J.K., Dupont D., Fuquay J.W., Fox P.F., Bernard J.K., Boland M.J., Dekker P.J., Labuza T.P., Schuck P., Robertson G.L., McCarthy O.J., Thompson A., Singh H. и других [91, 92 – 94, 98, 103, 104, 109, 110, 111].

Для сохранения здоровья населения, предупреждения заболеваний немаловажное значение имеет четкая и своевременная оценка безопасности и качества готового кефира, контроль в потоке внешнего вида, вкуса, цвета и консистенции получаемых напитков [82, 87, 120, 99, 117]. Поэтому важна разработка моделей, методов и алгоритмов, а затем создание на их базе интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кефира, включающей устройства автоматического контроля в потоке основных органолептических показателей данного кисломолочного напитка.

Исходя из этого, тема диссертационной работы «Разработка моделей, методов и алгоритмов интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кефира» является актуальной.

Цель работы: создание интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кефира с использованием нейросетевых технологий, системы компьютерного зрения и мультиагентного моделирования.

Объектом исследования является типовая поточная линия производства кефира и процессы технического контроля и управления качеством на всех этапах производства этого продукта.

Предметом исследования и разработок являются комплекс теоретических, методологических и практических проблем, связанных с созданием интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством готового кефира и соответствующее информационное, математическое, алгоритмическое и программное обеспечение этой системы.

В результате были поставлены и решены следующие **задачи исследований**:

1. Исследование протекающих в ТП производства кефира информационных процессов с целью выявления факторов, нарушающих устойчивое функционирование системы, и разработка нового подхода к автоматизации этих процессов с применением интеллектуальных технологий.
2. Обзор и анализ современных методов и средств автоматического контроля показателей качества кефира в потоке.
3. Исследование возможности и способов автоматического контроля основных органолептических показателей качества кефира с использованием интеллектуальных технологий.
4. Разработка информационно-аналитической мультиагентной имитационной модели производства кефира.
5. Разработка структурно – параметрических моделей основных стадий технологических процессов производства кефира.
6. Автоматизация контроля в потоке внешнего вида и цвета кефира с использованием системы компьютерного зрения.
7. Автоматизация контроля в потоке вкуса кефира с использованием нейросетевых технологий.
8. Разработка устройства для автоматического контроля и регулирования в потоке вязкости кефира с использованием реологических методов.
9. Разработка моделей, методов и алгоритмов для построения и формирования интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством готового кефира в процессе производства. Разработка математического, алгоритмического и программного обеспечения этой системы.
10. Проведение практической апробации разработанных методов, алгоритмов, имитационных моделей и результатов моделирования ТП производства кефира на действующем молочном предприятии с целью повышения производительности линии.

11. Внедрение результатов исследования в учебный процесс.

Методы и средства исследований. Поставленные в работе задачи решены с использованием основных положений теории автоматического управления, общих принципов математического моделирования, элементов теории искусственного интеллекта, методов системного анализа и методов математической статистики. Для построения базы знаний использованы экспериментальные данные функционирования АСУ предприятий молочного производства. При разработке основных компонентов интеллектуальной системы использован объектно-ориентированный язык Delphi и система управления базами данных MS Access. Численная и графическая обработка результатов исследований производилась с применением MatLab и Anylogic.

Научная новизна и теоретическая значимость. Создан новый класс интеллектуальных автоматизированных систем контроля и управления качеством готового кефира различных видов.

В диссертации решена научно-техническая задача теоретического обоснования, синтеза и практической реализации интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством готового кефира в процессе производства, обеспечивающая получение готового напитка с заданными свойствами.

К наиболее существенным **научным результатам** работы относятся следующие.

1. На основе результатов анализа процессов производства кефира как объекта автоматизации и определения специфических особенностей всех этапов этого производства разработаны методические основы создания и формирования интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством готового кефира различных видов.
2. Создан классификатор автоматически измеряемых в процессе производства кефира технологических параметров и режимов работы оборудования, ис-

пользуемый при автоматизации процессов сбора, анализа и обработки информации в задачах непрерывного контроля качества данного кисломолочного напитка.

3. В результате теоретического анализа, экспериментальных исследований и расчетов разработаны структурно – параметрические и имитационные модели ТП основных этапов производства кефира.
4. Созданы:
 - новые методы online-контроля показателей качества кефира в потоке: внешнего вида, цвета, вкуса и консистенции кефира на основе использования интеллектуальных технологий, позволяющие в контролируемом потоке данных обнаруживать появляющиеся отклонения свойств сырья и полуфабрикатов от оптимальных значений;
 - способы автоматического контроля указанных выше показателей качества кефира: внешнего вида, цвета, вкуса и консистенции, основанные на работе СКЗ и НСТ;
 - алгоритмическое и математическое обеспечения этих задач.
5. Предложена и обоснована методика построения интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством готового кефира, проведены аналитические исследования, подтверждающие правильность выбора базы данных (БД) и базы знаний (БЗ), являющихся основой созданной интеллектуальной системы, позволяющей эффективно функционировать в условиях неопределенности.
6. Разработано математическое, алгоритмическое и программное обеспечение интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством готового кефира.

Практическая значимость результатов исследования. Создана интеллектуальная автоматизированная система контроля и управления качеством готового кефира с функциями поддержки принятия решений, в том числе:

- Разработаны методы и средства мониторинга в потоке внешнего вида, цвета, вкуса и консистенции кефира на основе использования интеллектуальных технологий.
- Разработан и реализован комплекс моделей, методов, алгоритмов и программ для поддержки принятия решений в спроектированной интеллектуальной системе.
- Создано и обосновано эффективное математическое, алгоритмическое и программное обеспечение работы интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кефира на основе нейросетевых систем, мультиагентных технологий и систем компьютерного зрения.
- Разработана и апробирована структура функционирования интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кефира.
- Даны рекомендации по созданию интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кефира различных видов.

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

Достоверность полученных в работе результатов подтверждается использованием методов системного анализа и теории принятия решений, экспериментальными исследованиями технологических процессов производства кефира, проведенными в производственных условиях молочных предприятий,

а также обеспечивается совпадением расчетных данных и результатов эксперимента.

Апробация работы.

Основные положения диссертационной работы были обсуждены и одобрены на:

- секции №1 «Цифровизация пищевой промышленности и продовольственных систем» Глобального продовольственного Форума, Москва, 2021;
- II международной научно- практической конференции «Цифровизация Агропромышленного комплекса», Тамбов, 2020;
- II международной специализированной конференции- выставке «Фабрика будущего: переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам для отраслей пищевой промышленности», МГУПП, 2020;
- II научно-практической конференции с международным участием «Устойчивое развитие: сектор упаковки», МГУПП, 2020;
- Cjnference Series. Сер. «International Meeting – Fundamental and Applied Problems of Mechanics», Bauman Moscow State Technical University, 2019;
- I научно-практической конференции с международным участием «Передовые пищевые технологии: состояние, тренды, точки роста», МГУПП, 2018.
- I научно-практической конференции с международным участием «Передовые пищевые технологии: состояние, тренды, точки роста», МГУПП, 2018;
- I Международной специализированной конференции – выставке «Фабрика будущего. Переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам для отраслей пищевой промышленности», МГУПП, 2018;

- X Всероссийской конференции молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям, Кемерово, 18 – 19 сентября 2017 г., Институт вычислительных технологий СО РАН;
- XXXIV Международной научно-практической конференции «Перспективы развития информационных технологий», Новосибирск, 2017;
- II Международной научно-практической конференции «Информационная безопасность и компьютерные технологии», Украина, г. Кропивницкий, 2017;
- XXI Международной научно-практической конференции «Системный анализ в проектировании и управлении», Санкт-Петербург, 2017;
- II Международной научно-практической конференции «Автоматизация и управление технологическими и бизнес – процессами пищевой промышленности», 21 – 23 ноября 2016 г., МГУПП;
- Международной научно-практической конференции «Автоматизация и управление технологическими и бизнес – процессами пищевой промышленности», 15 – 17 апреля 2015 г., МГУПП;
- Y Всероссийской конференции молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям, Кемерово, 18 – 19 сентября 2013г., Институт вычислительных технологий СО РАН;
- X Международной научно-практической конференции "Автоматизация и информационное обеспечение производственных процессов в сельском хозяйстве", Углич, ГНУ ВИМ Россельхозакадемии, 16 – 17 октября 2012 г.

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

Публикации. Основное содержание диссертационной работы отражено в 47 научных работах, в том числе, в 14 статьях, опубликованных в ведущих российских научных периодических изданиях, включенных в Перечень ВАК при Минобрнауки РФ, а также в 6 статьях в изданиях, рецензируемых в международных базах данных (Scopus и WOS).

Структура и объем работы.

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка используемой литературы (165 источников) и приложений. Работа изложена на 236 страницах машинописного текста, содержит 108 рисунков, 26 таблиц, 2 приложения.

ГЛАВА 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА КЕФИРА КАК ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ

1.1. Анализ технологического процесса производства кефира

В соответствии с Федеральным законом «Технический регламент на молоко и молочную продукцию» № 88-ФЗ кефир - это кисломолочный продукт, произведенный путем смешанного (молочнокислого и спиртового) брожения с использованием закваски [43]. Это единственный кисломолочный напиток, вырабатываемый в промышленности на естественной симбиотической закваске [62].

В зависимости от используемого молока кефир может быть разных видов: от 0,3%; 0,5%; 1,0% до 7,2%; 8,0%; 9,0%; 9,5%. Кроме того, кефир жирный и нежирный изготавливают с добавлением витамина С.

Схема линии производства кефира представлена на рис.1.1.

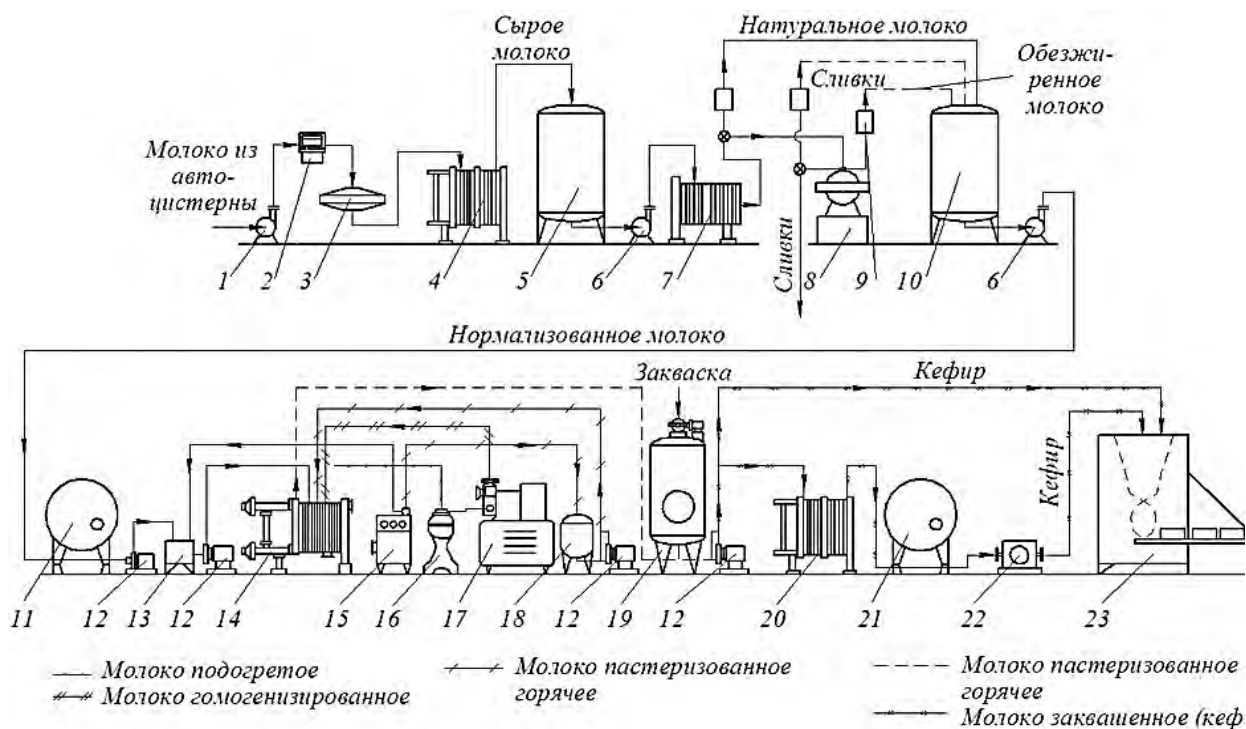


Рисунок 1.1. Машинно-аппаратурная схема линии производства кефира:

1- центробежный самовсасывающий электронасос; 2 – расходомер; 3 – фильтр; 4 -пластинчатая охлаждающая установка; 5 – резервуар; 6 - центробежный насос; 7 - пластинчатая теплообменная установка; 8 - сепаратор-сливкоотделитель; 9 – дозатор; 10 – резервуар; 11 - производственный резервуар.

Алгоритм управления процессом выработки кефира представлен на рисунке 1.2.

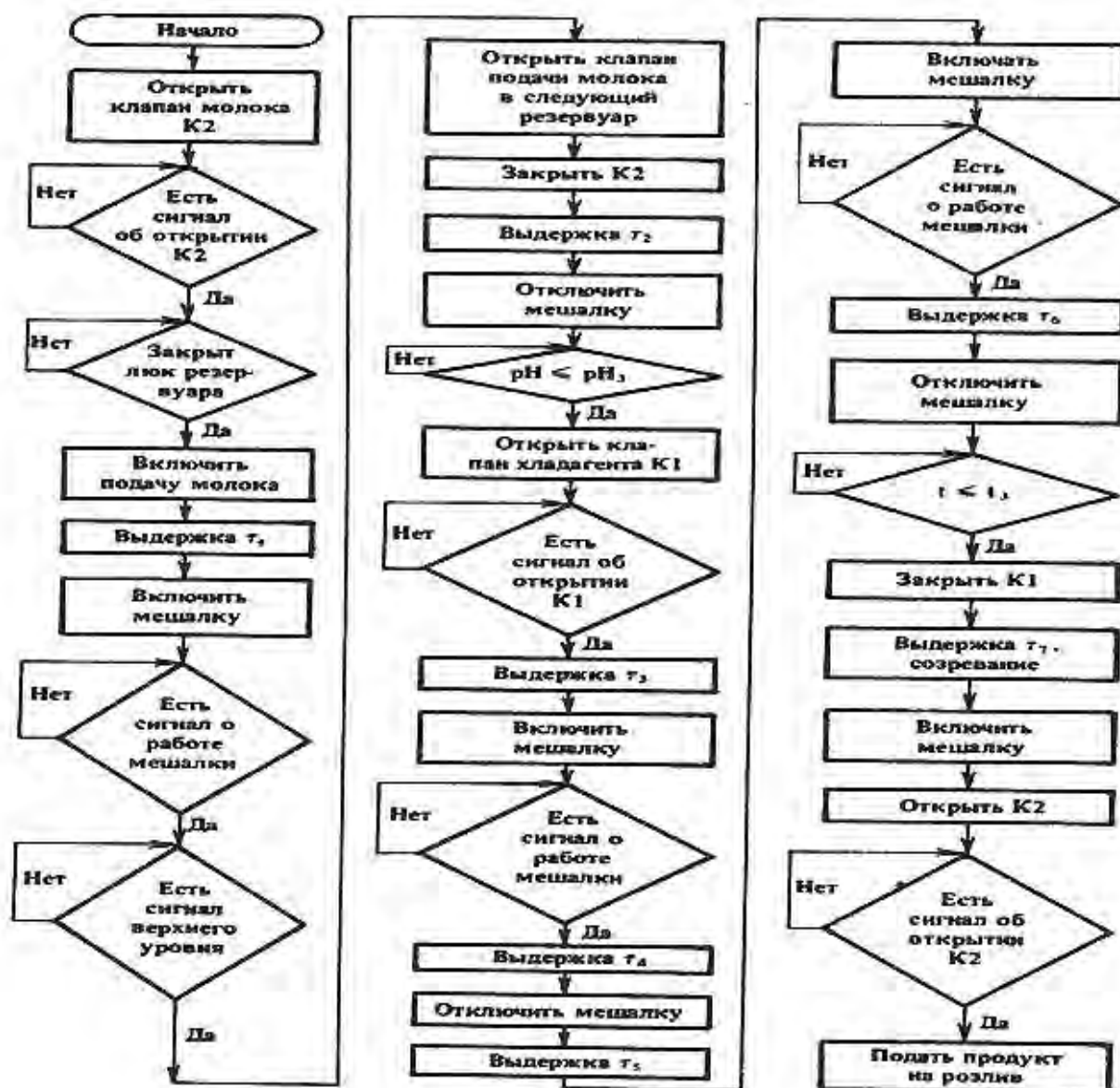


Рисунок 1.2. Алгоритм управления процессом выработки кефира

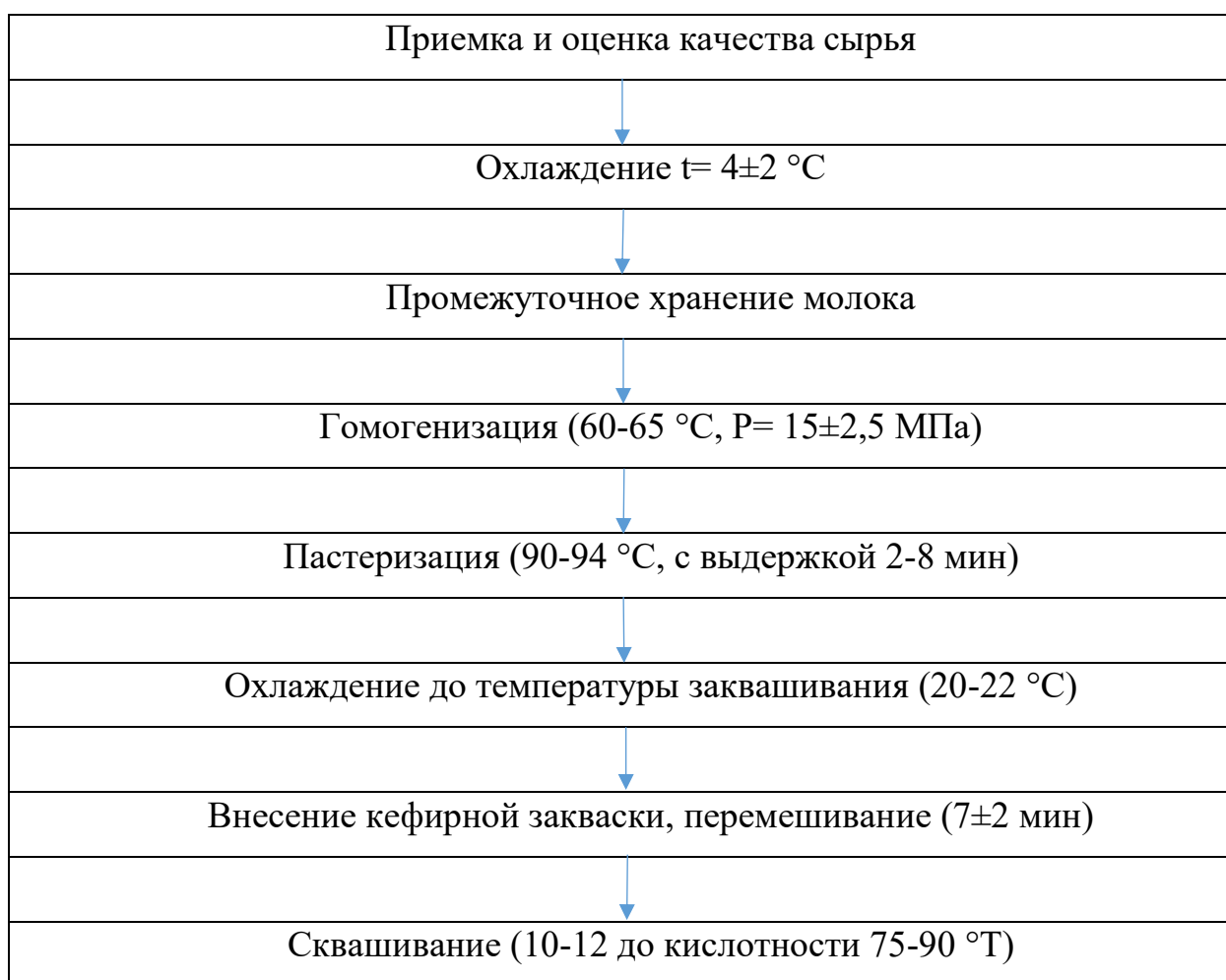
1.2. Характеристика этапов, стадий и материальных потоков технологического процесса производства кефира

Производство кефира разделяется на следующие основных этапы (рисунок 1.3): 1 – выработка производственной закваски, 2 – механическая и тепловая обработка молока, 3 – изготовление кефира и 4 – розлив и упаковка готовой продукции [103].



Рисунок 1.3 Основные этапы производства кефира

Алгоритм производства кефира представлен на рисунке 1.4. Началом для создания ферментированного продукта служит молоко, отвечающее критериям ГОСТ Р-52054-2003 и имеющее сорт не ниже второго. Также сырье должно соответствовать необходимой плотности: не менее 1028 кг/м³. Помимо вышеперечисленных параметров, важно учитывать и контролировать органолептическую оценку, а также кислотность, температуру, процент жира, процент белка и ряд других параметров.



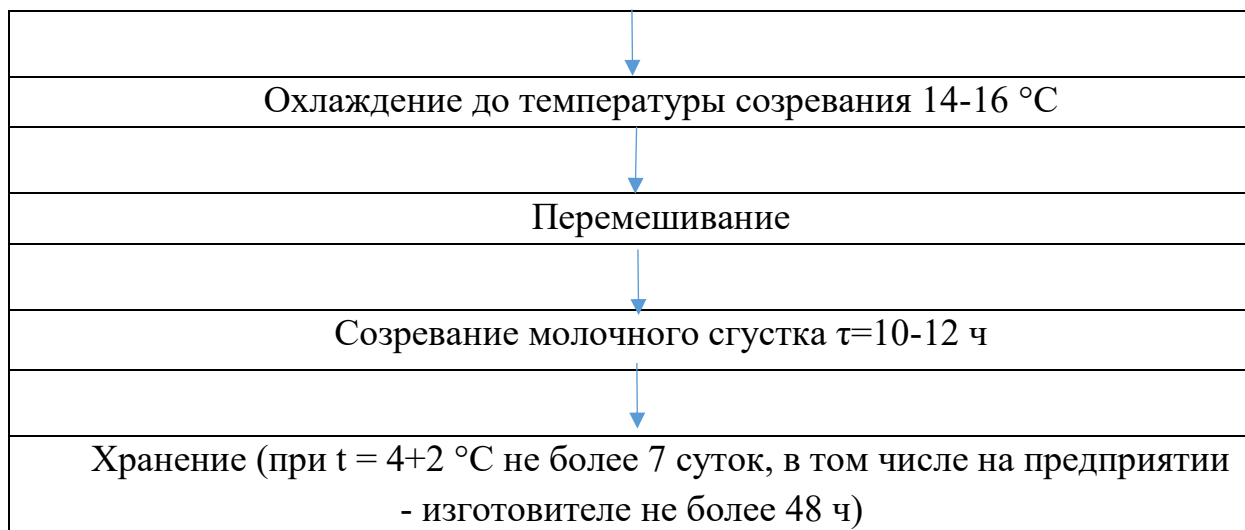
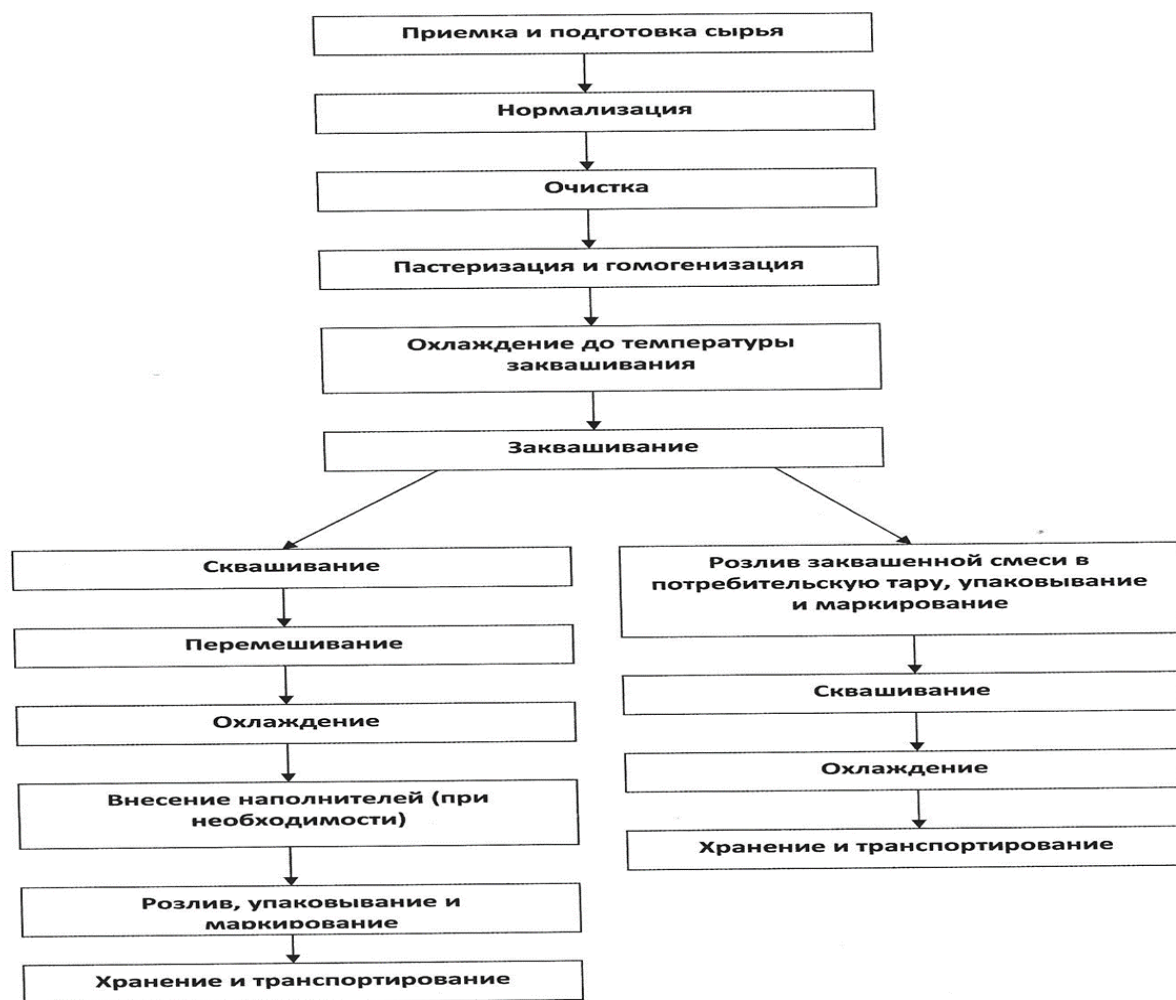


Рисунок 1.4. Алгоритм производства кефира

Технологическая схема производства кефира включает следующие основные стадии (рисунок 1.5) [109]:



а)

б)

Рисунок 1.5. Основные стадии ТП производства кефира а) резервуарным и б) термостатным способами

Приемка и подготовка сырья

Для выработки кефира применяют различные виды молочного сырья (натуральное молоко; нормализованное молоко; восстановленное цельное и обезжиренное молоко и др.), полученное соответственно из молока по ГОСТ 31449-2013 «Молоко коровье сырое». Молоко цельное сухое (ГОСТ 4495-87 «Молоко цельное сухое») [47, 48] или обезжиренное молоко восстанавливают путем фильтрации и центробежной очистке.

Нормализация

Нормализацию проводят путем составления смеси из цельного и восстановленного обезжиренного молока. Важным показателем качества полученной при нормализации смеси является ее консистенция, характеризующая ее реологические свойства. Допускается выработка кефира из полностью восстановленного молока.

Очистка, пастеризация, гомогенизация и охлаждение смеси происходит на центробежных молокоочистителях.

Следующими важными этапами производства кефира являются: заквашивание, сквашивание, перемешивание, охлаждение.

Основной объективной оценкой качества получаемой смеси являются следующие органолептические показатели: внешний вид, цвет, вкус и консистенция [44].

Далее производится розлив, упаковка, маркировка готового кефира, после чего готовый товар необходимо хранить в холодильнике.

1.3. Состав и пищевая ценность кефира

Кефир, как было показано ранее, относится к молочнокислым продуктам смешанного брожения (молочнокислого и спиртового).

Химический состав и энергетическая ценность кефира представлены в таблице 1.1 [109].

Таблица 1.1

Химический состав и энергетическая ценность кефира в 100 г

Продукты	Белки,г	Жиры,г	Угле- воды,г	Минеральные веще- ства, мг				Витамины, мг					Ккал
				Каль- ций	Фос- фор	Же- лезо	Ка- ро- тин	А	В1	В2	РР	С	
Кефир нежир- ный	2,9	0,1	3,9	128	93	0,1	-	-	0,04	0,17	0,14	0,7	35
Кефир жир- ный	2,7	3,5	4,2	118	97	0,1	0,01	0,02	0,03	0,17	0,14	0,7	64

1.4. Идентификация качества кефира

Для сохранения здоровья населения, предупреждения заболеваний немаловажное значение имеет идентификация кефира, а также оценка его качества и безопасности [88, 98, 119]. Идентификация проводится для подтверждения качества готовой продукции на соответствие обязательным требованиям технических регламентов, стандартов, сводов правил, технических условий [43 - 49]. Общие признаки идентификации молока и молочных продуктов, в том числе кефира, представлены в Федеральном законе № 88-ФЗ, а также регламентируются стандартом кефира [44]. В практической деятельности показатели качества используются как показатели идентификации. Идентификация кефира проводится по показателям (в соответствии с № 88-ФЗ и ГОСТ 52093 - 2003 «Кефир. Технические условия»), которые представлены на рисунке 1.6.

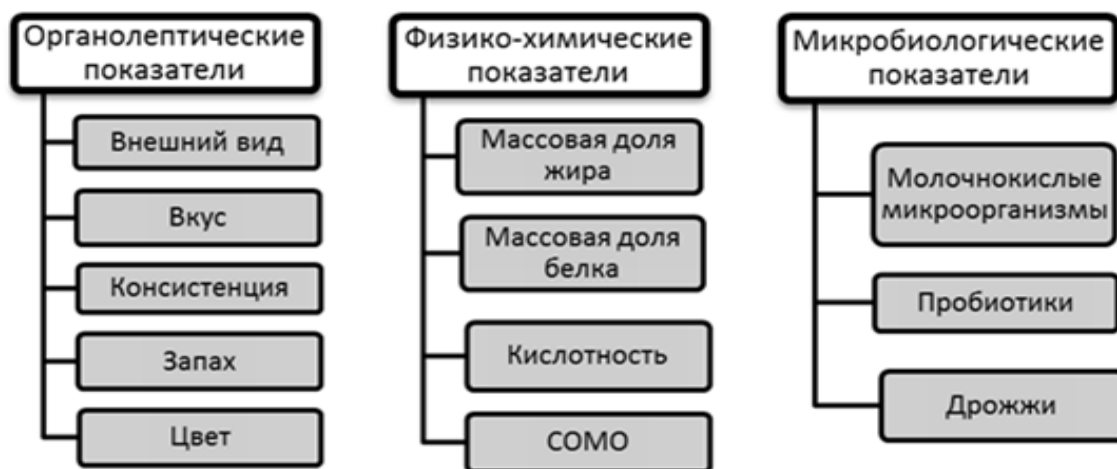


Рисунок 1.6 Показатели идентификации кефира

Признаки идентификации кефира по органолептическим показателям качества в соответствии с № 88-ФЗ и согласно ГОСТ 52093 - 2003 «Кефир. Технические условия» указаны в таблице 1.2.

Таблица 1.2

Органолептические показатели идентификации кефира

Вкус и запах	Внешний вид и консистенция	Цвет
Чистый, кисломолочный, слегка острый вкус без посторонних привкусов и запахов. Для продуктов, изготовленных с применением дрожжей допускается дрожжевой привкус	Консистенция однородная, напоминающая жидкую сметану, с нарушенным или ненарушенным сгустком. Допускается газообразование, вызванное действием микрофлоры кефирных грибов. На поверхности кефира допускается незначительное отделение сыворотки (не более 2% от объема продукта).	Молочно - белый, равномерный по всей массе

По физико – химическим показателям кефир должен соответствовать нормам, указанным в таблицах 1.3, 1.4 и 1.5.

Таблица 1.3

Массовая доля жира кефира

Наименование показателя	Норма
Массовая доля жира продукта, %:	
Обезжиренный	0,1
Нежирный	0,3; 0,5; 1,0
Маложирный	1,2; 1,5; 2,0; 2,5
Классический	2,7; 3,0; 3,2; 3,5; 4,0; 4,5
Жирный	4,7; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5; 7,0
Высокожирный	7,2; 7,5; 8,0; 8,5; 9,0; 9,5

Таблица 1.4

Физико-химические показатели кефира

	Нормы для продукта
--	--------------------

Наименование показателя	обезжиренного	нежирного	мало-жирного	классического	жирного	высокожирного
Массовая доля белка, %	2,8			2,6		
Кислотность, °Т , не более	От 85 до 130					
Температура готового кефира при выпуске с предприятия, °С	4 ± 2					

Таблица 1.5

Содержания влаги, жира и кислотности в кефире.

Кефир	Влажность, %	Содержание жира, %	Кислотность, °Т
Кефир 3,2 % жирности	-	3,2	85 - 120
Кефир 2,5% жирности	-	2,5	85 - 120
Кефир 1% жирности	-	1,0	85 - 120
Кефир нежирный	-	-	85 - 120
Таллинский 1% жирности	12,0	1,0	85 - 130
Таллинский нежирный	11,0	-	85 - 130
Таллинский особый	9,5	1,0	90 - 130

Закваска должна иметь густую консистенцию, приятный вкус и запах, слегка пениться.

Одним из физико- химических показателей кефира является СОМО (сухой обезжиренный молочный остаток) – это молоко, из которого удалены жир и вода. Данная характеристика показывает питательную ценность сырья. С технологической и экономической точек зрения молоко можно разделить на воду и сухое вещество, в которое входит молочный жир и сухой обезжиренный молочный остаток (СОМО). В состав СОМО, кроме жира входят казеин, лактоза, сывороточные белки и минеральные вещества (рисунок 1.7).

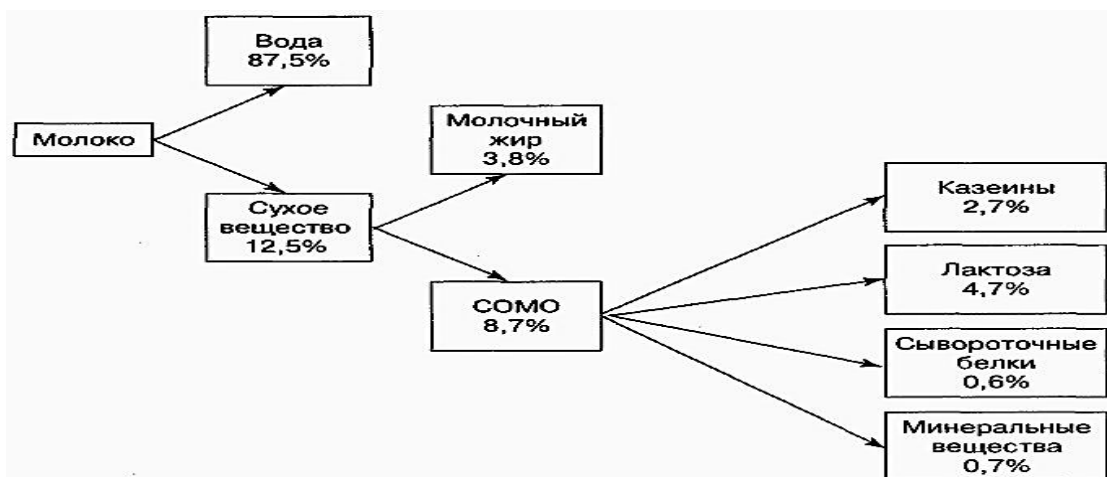


Рисунок 1.7 Состав СОМО

К микробиологическим показателям кефира относятся: молочнокислые микроорганизмы, пробиотики и дрожжи.

1.5. Показатели, формирующие качество кефира

1.5.1. Сырье, используемое для производства кефира

Сырье, используемое для производства кефира, должно отвечать требованиям:

- ГОСТ Р 52054 - Молоко натуральное коровье - сырье. Технические условия);
- молоко обезжиренное (ГОСТ 31658-2012. - Молоко обезжиренное - сырье. Технические условия).
- сливки (ГОСТ 34355-2017. Межгосударственный стандарт. Сливки – сырье. Технические условия);
- сгущенное молоко (ГОСТ 31688-2012. Консервы молочные. Молоко и сливки. Технические условия);
- молоко цельное сухое высшего сорта ГОСТ Р52738-2007;
- ГОСТ Р 52791- Консервы молочные. Молоко сухое. Технические условия;
- концентрат бактериальный сухой мезофильных молочнокислых стрептококков КМС-сух. (ТУ 9229-369-00419785-04. Закваски, бактериальные концентраты, дрожжи и тест-культуры. Технические условия");

- СанПиН 2.1.4.1074-01 - Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества.

Основным сырьем для производства кефира является молоко. Требования к входному контролю качества сырья представлены в работах [91, 92 – 94, 98, 109]. Схема точек контроля сырья при производстве кефира показана на рисунке 1.8 (ОП – органолептические показатели, ФХ – физико-химические показатели, М – микробиологические показатели).

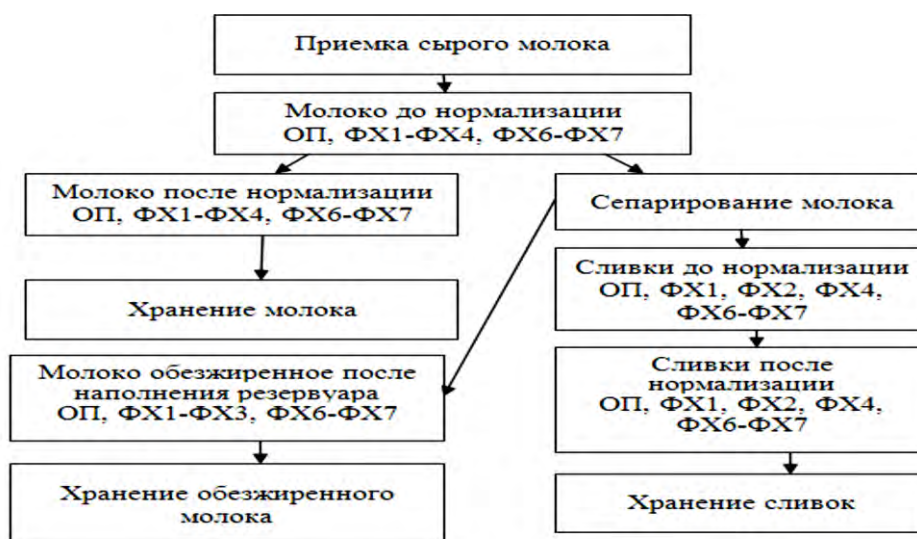


Рисунок 1.8 Схема точек контроля сырья при производстве кефира

Схема точек контроля закваски представлена на рисунке 1.9.



Рисунок 1.9 Схема точек контроля закваски

Блок схема точек контроля качества кефира в процессе его производства показана на рисунке 1.10.

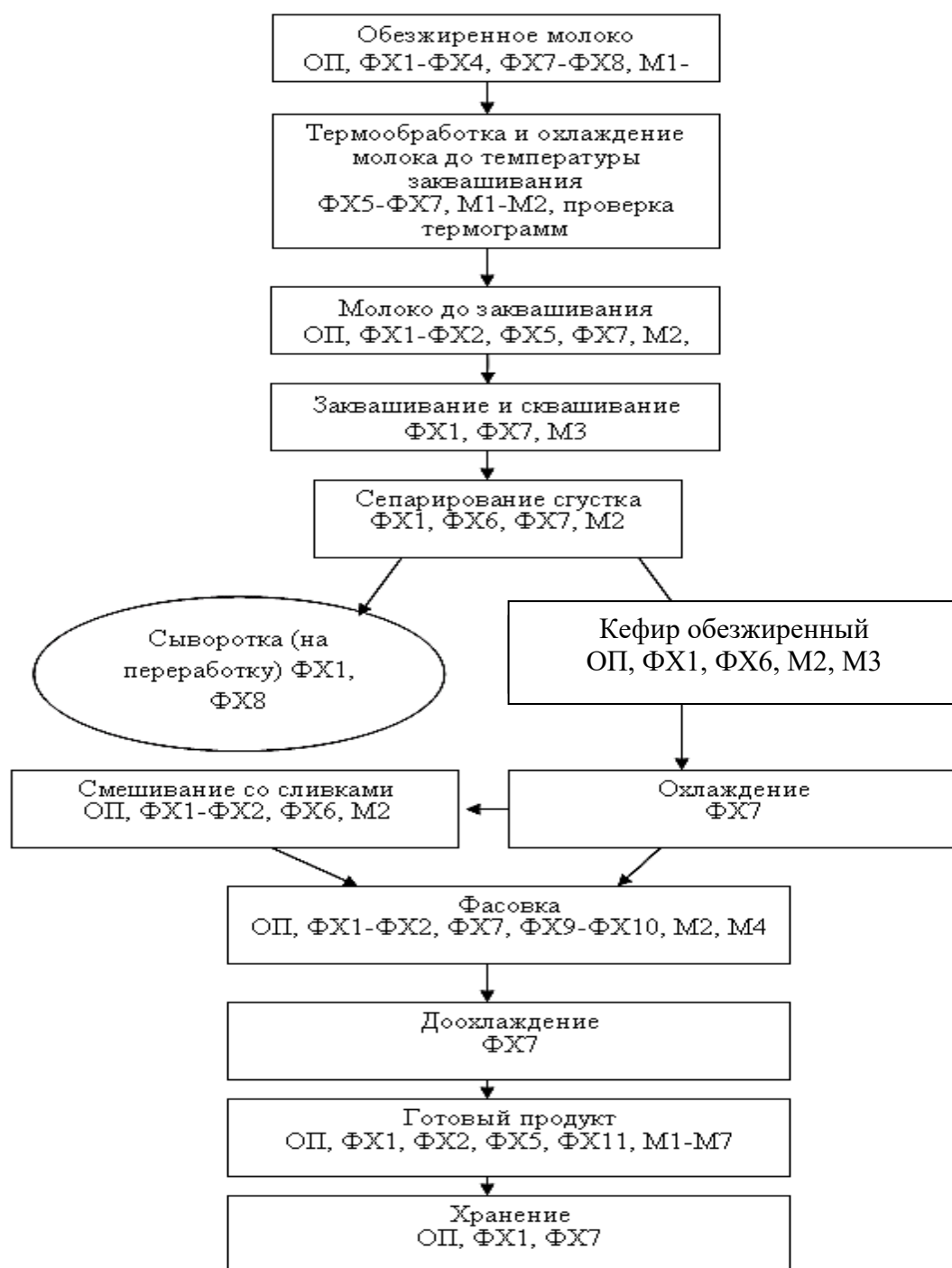


Рисунок 1.10. Блок схема точек контроля качества кефира в процессе его производства

1.5.2. Параметры и режимы проведения процессов производства кефира

Необходимые технологические параметры и режимы работы оборудования, используемого при производстве кефира, представлены на рисунке 1.11.

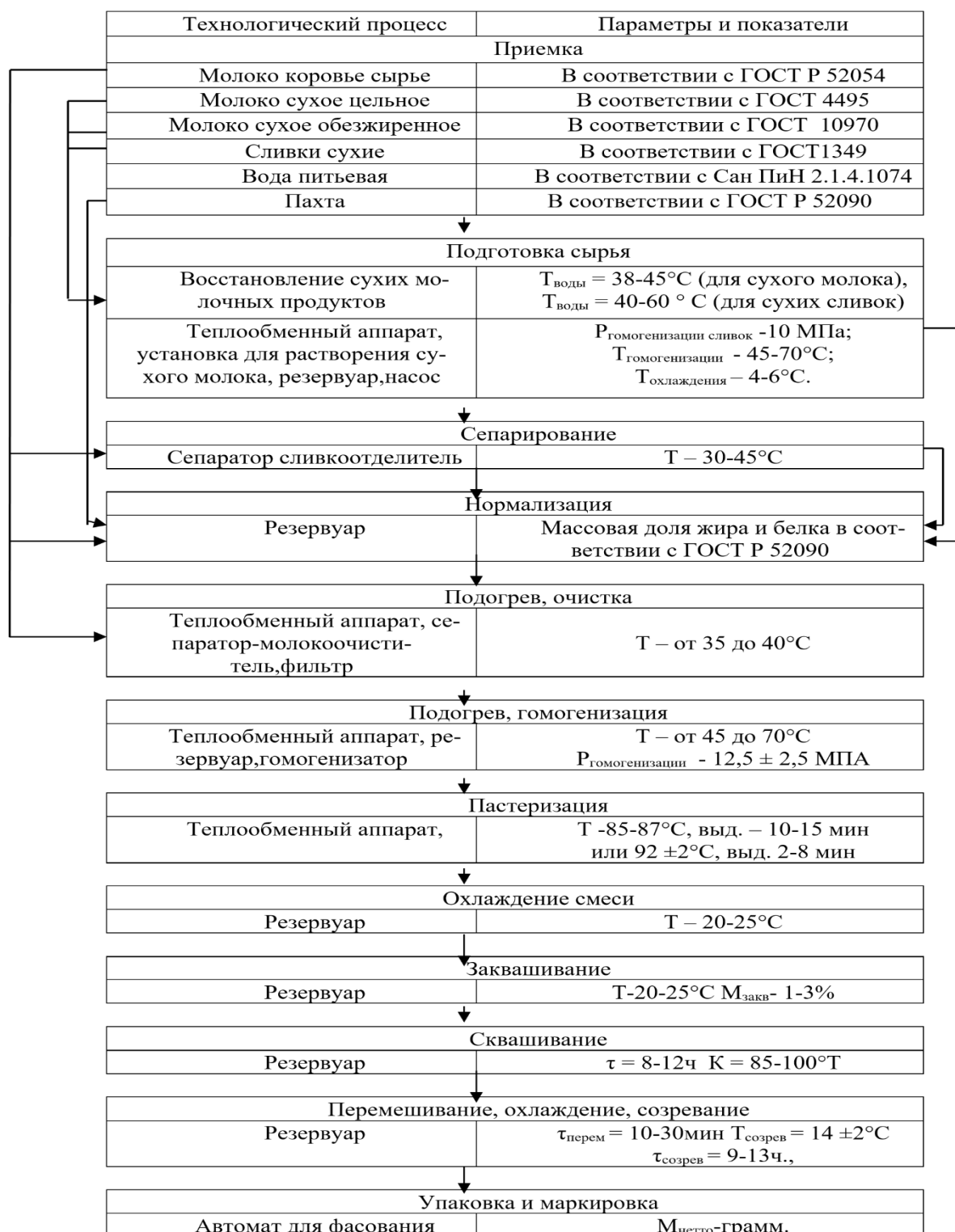


Рисунок 1.11. Технологические параметры и режимы производства кефира
Влияние температурной обработки сырья, полуфабрикатов на качество получаемого кефира

Как видно из рисунка 1.11, температурные режимы важны при всех стадиях производства кефира: подготовке сырья, его сепарировании, при гомогенизации, стерилизации и т.д.

Проведенный нами обзор и анализ работ по влиянию тепловой обработки производственной закваски показали их большое влияние на консистенцию получаемого кефира [94, 98, 103, 109]. Огромное влияние на качество готового кефира имеют температурные режимы сквашивания и созревания.

Влияние режимных параметров работы оборудования, используемого в производстве, на качество готового кефира

На качество производства кефира большое влияние оказывает надежность оборудования, которая зависит от режимов работы этого оборудования, от технологических параметров ведения процесса.

Поэлементный всесторонний анализ всех стадий производства кефира и определение на его основе необходимых точек контроля и регулирования позволили перейти к разработке функциональных схем автоматизации и анализу существующих методов и средств контроля показателей качества кефира.

1.6. Методы и средства контроля показателей качества кефира

1.6.1 Существующие методы и средства органолептического контроля показателей качества кефира

Факторы, формирующие качество кефира представлены на рисунках 1.8 - 1.11 и в таблицах 1.2 - 1.5. При этом важнейшую роль играют органолептические показатели [62, 99, 111].

Органолептическая оценка является обобщенным результатом восприятия органами чувств таких свойств продукта, как внешний вид, консистенция, вкус, запах и цвет. И определяется экспертами-дегустаторами. Для определения оценки используют качественные и количественные методы. Качественная оценка представляет собой описание, а количественная характеризуется

интенсивностью ощущений и выражается в виде чисел, отсчитываемых по определенной шкале.

К органолептическим показателям качества кефира в соответствии с ГОСТ 52093 - 2003 «Кефир. Технические условия» относятся: внешний вид, консистенция, запах, вкус и цвет [44].

Термином «внешний вид» обозначают зрительное восприятие или совокупность видимых параметров вещества или продукта [99, 117]. Для оценки внешнего вида используют множество характеристик: размер, форму, текстуру поверхности, степень прозрачности или непрозрачности, яркость [87, 120].

Вкус и запах должны быть чистыми кисломолочными, свойственными виду продукта, без посторонних привкусов и запахов. Для более правильного описания вкуса важно, чтобы дегустаторы обладали одинаковым порогом распознавания. Однако каждому дегустатору свойственно индивидуальное пороговое восприятие вкуса и запаха.

Цвет должен быть молочно-белым или со слегка кремовым оттенком, равномерным по всей массе. Консистенция кефира должна быть однородной, напоминающей жидкую сметану. В кефире допускается газообразование.

Используемая на молочных предприятиях шкала предпочтений приведена в таблице 1.6.

Таблица 1.6

Шкала предпочтений при оценке качества кефира

Сводная органолептическая оценка	Балл
Превосходно	10
Отлично (прекрасно)	9
Очень хорошо	8
Хорошо	7
Нормально	6
Удовлетворительно	5
Не очень нравится	4
Плохо	3
Очень плохо	2
Не приемлемо (брак)	1

Контроль органолептических свойств молока и молочных продуктов

Основным заключающим документом об органолептических показателях качества (ОПК) кефира является оценка дегустаторов-технологов. Оценка запаха и вкуса кефира производится по 5-балльной шкале, которая приведена в таблице 1.7.

Таблица 1.7

Шкала показателей оценки вкуса и запаха кефира

Показатели вкуса и запаха кефира, общая оценка	Снижение оценки, баллы	Оценка, баллы
слегка острый вкус. Для продуктов, изготовленных с применением дрожжей допускается дрожжевой привкус	0	5
привкус сыворотки, кислый вкус	1	4
слабый окисленный, наличие дрожжевого привкуса и запаха, слабая горечь, слабый кормовой, слабый хлевный	2	3
окисленный, прогорклый, гниlostный, плесневелый.	3-4	2-1

Определение качества кефира начинают с осмотра состояния тары после ее вскрытия. Первым шагом является визуальный осмотр поверхности продукта [96].

Для определения консистенции кефира содержимое бутылок тщательно встряхивают и переливают в стакан. О характере консистенции судят по тому, как стекает продукт в стакан [43]. Определение внешнего вида и консистенции кефира в лабораториях молочных предприятий показано на рисунке 1.12



Рисунок 1.12 Определение внешнего вида и консистенции кефира

Шкала показателей оценки внешнего вида, консистенции кефира и его

цвета представлены в таблицах 1.8, 1.9.

Таблица 1.8

Рекомендуемая шкала дегустационной оценки внешнего вида и
консистенции кефира

Показатели внешнего вида и консистенции	Снижение оценки, баллы	Оценка, баллы
однородная, напоминающая жидкую сметану. Допускается газообразование в виде отдельных пузырьков, вызванное действием микрофлоры кефирных грибов.	0	3
легкая крупчатость, мажущая консистенция.	1	2
слегка неоднородная консистенция	2	1
чрезмерно мажущая, слизистая консистенция	3	0

Таблица 1.9

Рекомендуемая шкала дегустационной оценки цвета кефира

<i>Удовлетворительно:</i> молочно - белый, равномерный по всей массе	0	1
<i>Неудовлетворительно:</i> неравномерный	1	0

1.6.2 Контроль показателей качества кефира инструментальными методами

Обзор и анализ научно-технической информации по инструментальным методам контроля органолептических показателей качества пищевых продуктов показал, что пищевые предприятия начинают использовать методы косвенного контроля, которые позволяют оперативно принимать решения по управлению ТП пищевых производств [99, 117, 120].

В соответствии с межгосударственным стандартом ГОСТ 5867-90. «Молоко и молочные продукты. Методы определения жира» массовая доля жира определяется под действием концентрированной серной кислоты и изоамилового спирта с последующим центрифугированием и измерении объема выделившегося жира в градуированной части жиромера [48]. Используемая для

контроля этого физико-химического показателя аппаратура: жиरोмеры (бутирометры) стеклянные, пипетки, груша резиновая. Данный показатель определяется в лабораториях предприятий и соответствуют содержанию жира в молоке и молочных продуктах в процентах.

Для контроля массовой доли жира молочных продуктов предлагается несколько интересных вариантов производственных жиромеров [78]. Так, современный производственный бутирометр (жиромер) для контроля массовой доли жира в кефире представлен на рисунке 1.13.



Рисунок 1.13 Бутирометр для контроля жирности кефира

Это простой прибор служит для определения количества жира в молочных продуктах, а также в некоторых других продуктах, например, в тесте. Назван прибор от греческих слов «масло» (butyron) и «измеряю» (metreo). Прибор определяет весовое содержание жира и предназначен для оперативного и простого анализа. И хотя весовой химический анализ дает более точные результаты, но он сложен, длителен и требует дорогого оборудования. Поэтому бутирометры начинают широко использоваться в молочной промышленности. Применение бутирометров в молочной промышленности позволяет контролировать качество ФХ – показателей выпускаемой продукции прямо на производстве [107].

В настоящее время появились различные варианты производственных приборов, позволяющих определять весь комплекс физико-химических показателей качества молочной продукции. На рисунке 1.14 представлен производственный ультразвуковой анализатор качества молока и молочных продуктов

Екомилк тип Милкана КАМ-98 2А. Анализатор применяется для измерения кислотности (рН) и титрируемой кислотности (Th) в цельном, консервированном, пастеризованном, стерилизованном, концентрированном (сгущенном без сахара) молоке; сливках; кефире и других кисломолочных продуктов [119].



Рисунок 1.14 Производственный анализатор качества молока и молочных продуктов Ekomilk

Анализатор применяется для индикации значений измеренных физических величин, а также: точки замерзания, удельной электрической проводимости, лактозы, массовой доли добавленной воды в пробе. Используется для экспресс - определения показателей качества молока, продуктов его переработки и контроля параметров технологических молочных смесей при приемке и переработке молока [117].

На рисунке 1.15 представлены различные модификации анализаторов качества молока и продуктов его переработки Лактан 1-4 М исполнение 600 УЛЬТРА [82].



Рисунок 1.15 Анализатор качества молока и продуктов его переработки
Анализатор качества молока Лактан 1-4 М исполнение 600 УЛЬТРА – это новейший прибор, созданный на основе новейшей технологии измерения ультразвука, который позволяет получить точные и быстрые результаты определения следующих физико- химических параметров: массовая доля жира,

белка, СОМО, плотность, добавленная вода, точка замерзания в пробе молока, используя специально разработанное программное обеспечение. Обеспечивает высокую производительность и удобство при проведении анализа.

В последние годы разработаны лабораторные приборы определения массовой доли жира, массовой доли белка, кислотности и СОМО сырья, полуфабрикатов и готового кефира, выпускаемые отечественной промышленностью.

1.6.3. Существующие методы и средства микробиологического контроля показателей качества кефира

Отбор проб для микробиологических исследований, а также собственно исследования проводят по методам контроля микробиологических показателей, регламентированных следующими документами: ГОСТ 32901-2014 «Молоко и молочная продукция. Методы микробиологического анализа»; ГОСТ 23453-2014 «Молоко сырое. Методы определения соматических клеток»; ГОСТ 32219-2013 «Молоко и молочные продукты. Методы определения наличия антибиотиков»; ГОСТ Р 54075-2010 «Молоко и молочная продукция. Методы определения содержания спор мезофильных анаэробных микроорганизмов». Микробиологический контроль (рисунок 1.16) выявляет на соответствие установленным нормам наличие и количество различных микроорганизмов.



Рисунок 1.16 Микробиологический контроль молока и молочных продуктов

Средствами микробиологического контроля являются комплекс приборов, обеспечивающий контроль всех значимых групп микроорганизмов, а

также питательные среды и диагностические препараты. Выбор средств определяется специалистами предприятия, проводящими микробиологический контроль и отвечающими за безопасность и качество продукции.

Микробиологические показатели молока по ОМЧ (общее микробное число) или КМАФАнМ (количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов) должны соответствовать требованиям Технического регламента Таможенного союза «О безопасности молока и молочной продукции».

На рисунке 1.17 представлен вискозиметрический анализатор молочной продукции.



Рисунок 1.17 Вискозиметрический анализатор молочной продукции.

Проведенные нами исследования существующих современных инструментальных методов и систем контроля и управления качеством сложных структур (каким является кефир) показал необходимость широкого применение для этих целей интеллектуальных технологий.

Обзор лабораторных информационных аналитических систем контроля и управления безопасностью выпускаемой продукции ЛИМС

Обзор рассмотренных комплексов контроля показателей безопасности продукции и сравнение их основных функциональных возможностей представлен в таблице 1.11.

Таблица 1.11

Сравнение функциональных возможностей различных ЛИМС

Признак сравнения	I-LDS	ГАЛЕУС	Химик-аналитик	STARLIMS	SampleManager LIMS	LabWare LIMS
Возможность управлять данными о пользователях системы	+	+	+	+	+	+
Возможность ручного и автоматизированного ввода данных	+	+	+	+	+	+
Регистрация и идентификация образцов	+	+	+	+	+	+
Прослеживаемость образца	+	+	+	+	+	+
Составление отчетов текущего мониторинга	+	+	+	+	+	+
Генерация отчетов	+	+	+	+	+	+
Формирование графика выполнения лабораторных анализов	+	+	+	+	+	+
Напоминание исполнителю о необходимости выполнить анализ	+	+	+	+	+	+
Проверка соответствия результатов анализов нормативной документации	+	+	+	+	+	+
Разграничение прав пользователей в системе	+	+	+	+	+	+
Просмотр и утверждение результатов анализов	+	+	+	+	+	+
Наличие Веб-интерфейса	+	+	+	+	+	+
Возможность расширения функциональных возможностей	+	+	+	+	+	+
Возможность интеграции с другими системами предприятия	+	+	+	+	+	+

Для промышленных процессов наиболее широкое распространение получила система LIMS Lab Ware [128, 131]. В данной системе осуществлена интеграция ЛИМС с измерительными лабораторными приборами измерения микробиологических показателей безопасности выпускаемой продукции, что позволяет внедрять их в конкретные предприятия молочной промышленности для выполнения лабораторных микробиологических анализов и заносить их результаты в базу данных.

Исследование методов определения микробиологических показателей готового кефира показали наличие интеллектуальных лабораторных информационных аналитических систем, позволяющих проводить контроль этих показателей.

В целом, проведенные исследования в области методов и средств контроля показателей качества кефира показали, что к настоящему времени датчиков автоматического контроля в потоке органолептических показателей ке-

фира не имеется. Требуется дальнейшая более глубокая проработка возможности автоматического контроля органолептических показателей качества именно кефира.

1.6.4. Выбор наиболее важных органолептических показателей качества, подлежащих автоматическому контролю при производстве кефира

Проведенный обзор и анализ работ в области определения качества кефира показал, что органолептический контроль на производстве занимает важное место при определении показателей качества готовой продукции [82, 88, 96, 127]. Однако он требует хорошо организованной и слаженной работы специально обученного персонала, больших материальных затрат на его обучение и создание специально оборудованных помещений. Нарушение этих условий может привести к получению необъективных результатов [116, 119].

Проведенный анализ технологического процесса производства кефира как объекта управления, изучение этапов, стадий и материальных потоков исследуемого производства, рассмотрение состава и пищевой ценности кефира, разработка требований, предъявляемых к качеству кефира с учетом факторов, формирующих качество кефира, позволили выявить наиболее важные органолептические показатели качества, которые необходимо автоматически в потоке контролировать при производстве кефира. Это: внешний вид; вкус; консистенция и цвет кефира.

Проведенные исследования показали, что к настоящему времени датчиков автоматического контроля органолептических показателей кефира не имеется. Для разработки методов и средств автоматического контроля в потоке вышеуказанных органолептических показателей качества необходимо использование интеллектуальных технологий: нейросетевых, систем компьютерного зрения, мультиагентного имитационного моделирования и др.

1.7. Применение нейросетевых технологий для определения качества кефира

Нейронная сеть — это последовательность нейронов, соединенных между собой синапсами [105]. По существу, нейронная сеть (НС) это машинная интерпретация мозга человека, в котором находятся миллионы нейронов, передающих информацию в виде электрических импульсов (рисунок 1.18).

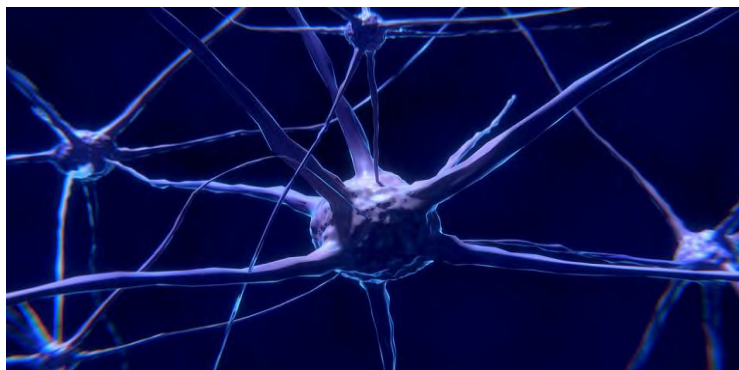


Рисунок 1.18 Нейроны в организме человека

Любая НС может состоять из 3 и более слоев, в зависимости от структуры и решаемой задачи. В каждом слое может содержаться множество нейронов, связанных между собой связями (рисунок 1.19).

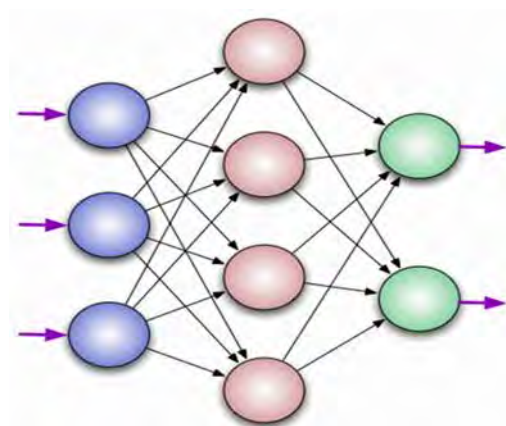


Рисунок 1.19. Искусственные нейронные сети

Причем эти связи могут быть как прямыми, от нейронов предыдущего слоя к нейронам последующего слоя, так и обратными от нейронов последующего слоя к нейронам предыдущего [122].

Выбор наиболее подходящего типа НС для решения поставленной задачи, а также разработка архитектуры НС определяется отдельно для каждого конкретного случая. После выбора типа реализуемой сети необходимо подобрать количество слоев, а также количество нейронов в каждом слое с целью

получить сеть, наиболее точно описывающую исследуемый технологический процесс.

После построения структуры НС необходимо правильно настроить весовые коэффициенты, характеризующие активность связи между нейронами. Для этого сеть необходимо «обучить». Процесс обучения может производиться различными способами в зависимости от поставленной задачи, подобранной архитектуры НС и алгоритмов обучения.

Нейроны входного слоя получают данные извне и после их обработки передают сигналы через синапсы нейронам следующего слоя. Нейроны второго слоя (его называют скрытым, потому что он напрямую не связан ни с входом, ни с выходом ИНС) обрабатывают полученные сигналы и передают их нейронам выходного слоя.

Основные направления использования искусственных нейронных сетей в пищевой промышленности

За последние годы уже открыто немало новых возможностей нейронных сетей, а работы в данной области становятся важным вкладом в промышленность, науку и технологии, имеют большое экономическое значение.

Потенциальными областями применения искусственных нейронных сетей являются те, где нейронные сети продемонстрировали свою способность решать сложные задачи. Они имеют уникальные потенциальные возможности. Типовые задачи, решаемые с помощью нейронных сетей:

- автоматизация процесса классификации;
- автоматизация прогнозирования;
- автоматизация процесса предсказания;
- автоматизация процесса принятия решений;
- управление;
- кодирование и декодирование информации;
- аппроксимация зависимостей и др.

Действительно, актуальность применения нейронных сетей многократно возрастает тогда, когда появляется необходимость решения плохо формализованных задач.

В настоящее время, предприятия пищевого профиля, имеют потребность в использовании искусственных нейронных сетей, для автоматизации процессов, направленных на контроль и анализ органолептических показателей готовой продукции. Технологии, основанные на использовании математических моделей нейронных сетей, позволяют осуществлять проверку качества продукции, экономя средства на исследования с использованием дорогостоящих сенсорных приборов. Также такие НСТ позволяют сэкономить сырье для органолептического анализа.

Любая нейронная сеть может использоваться на производстве в виде самостоятельной системы принятия решений и предоставления знаний. На предприятиях такие системы могут выступать в качестве одного из функциональных компонентов производственного процесса и производить контроль или управление над отдельным технологическим процессом. В процессе работы, НС имеют возможность передавать обработанные результирующие сигналы непосредственно на другие объекты производства, не связанные с использованием нейронных сетей.

Любой производственный процесс на пищевом предприятии включает в себя постоянный контроль параметров, влияющих на качество готовой продукции. Это могут быть весовые или объемные датчики, отвечающие за дозирование компонентов, датчики температуры, давления и многие другие. Для обработки такого большого массива данных, поступающих в компьютер, необходимо использование аппарата искусственных нейронных сетей, применяемого на производственных циклах контроля сырья, полуфабрикатов и готовой продукции. В зависимости от назначения сети, можно получить качественную или количественную информацию об исследуемых параметрах.

НС могут применяться для обработки состояния продукции и создавать идеальную форму изготавливаемых товаров. В процессе обучения на сеть подают эталонные признаки внешнего вида товара. Основной задачей является выделение некачественной продукции, которая не соответствует заявленным требованиям формы и внешнего вида. В итоге создается база данных, на основе которой применяют решения по разделению производимой продукции на классы (сорта, виды) соответственно определенным критериям.

Роль нейронных сетей при решении задач, связанных с прогнозированием, заключается в том, что будущее состояние системы предсказывается по её предыдущему поведению.

Если необходимо решать задачи управления и идентификации динамических процессов, нейросеть опирается на выполнение нескольких функций. Первым делом сеть создается в виде нелинейной модели исследуемого процесса, обеспечивая при этом выработку соответствующего управляющего воздействия. Также сетью выполняется роль следящей системы, которая может адаптироваться к возможным меняющимся условиям окружающей среды. Большое значение имеет классифицирующая функция ИНС, предназначенная для выработки решения о дальнейших этапах развития процесса [114].

На практике, реализация нейросети в условиях производства пищевой продукции, может осуществляться посредством использования виртуального датчика, необходимого для расчета определенного показателя качества.

Из-за отсутствия на предприятии профессиональных дегустаторов, а также несоблюдения условий проведения дегустации, происходит необъективная оценка продукта со стороны его вкусовых показателей.

Успешно решать задачи подобного уровня позволяют технологии, разработанные на основе алгоритмов нейросетевой модели, внедренные

непосредственно в производственный процесс в виде виртуальных датчиков.

1.8. Использование системы компьютерного зрения для определения качества кефира

Системы компьютерного зрения являются областью искусственного интеллекта, которые включают в себя набор методов, наделяющих компьютер способностью «видеть» и извлекать информацию из увиденного.

Системы компьютерного зрения (СКЗ) состоят из фото- или видеокамеры и специализированного программного обеспечения, которое идентифицирует и классифицирует объекты. СКЗ способны анализировать образы (фотографии, картинки, видео, штрих-коды), а также лица и эмоции.

Основной целью СКЗ является построение систем, способных «видеть», то есть извлекать из изображений информацию об исследуемых объектах, полезную для дальнейшего использования в рамках какого-либо приложения. При этом обработка видеоинформации осуществляется на универсальных или специализированных компьютерах.

Система анализа изображений (САИ) включает следующие основные компоненты:

- подсистему формирования изображений (которая сама может включать разные компоненты, например, объектив и ПЗС-матрицу и др.);
- вычислитель;
- алгоритмы анализа изображений, которые могут реализовываться программно на процессорах общего назначения, и аппаратно в структуре вычислителя, а также аппаратно в рамках подсистемы формирования изображений.

Применение СКЗ

Системы компьютерного зрения находят следующее применение: сортировка, поиск брака и другие операции в серийном производстве; реализация технологий дополненной и виртуальной реальности; чтение штрихкодов выпускаемой продукции на предприятиях, в торговле и на складских комплексах.

В качестве важных приложений использования СКЗ можно назвать автоматический контроль качества выпускаемой пищевой продукции, системы безопасности и экологического мониторинга, биометрии, умные фото и видеокамеры, системы поиска изображений в базах данных, обнаружение, например, брака пищевой продукции и распознавание объектов.

Автоматический контроль производимой продукции на пищевых предприятиях способствует повышению эффективности работы линий при понижении затрат ручного труда, поскольку СКЗ могут обнаруживать, предсказывать и предотвращать различные нежелательные ситуации на конвейере («пробки», «зажевывания» и т.д.). Если требуется более высокая точность, можно использовать технику, называемую «визуальный серво-контроль». Камера прикрепляется рядом, или непосредственно на роботе, и дает постоянную обратную связь (а не только одно изображение в начале выполнения задачи), что позволяет контроллеру робота постоянно исправлять мелкие ошибки в движениях.

В настоящее время контроль качества осуществляется на основе случайно отобранных образцов и проверки этих проб вручную, а затем, используя методы статистического анализа, результаты экстраполируются на всю крупную партию. Это всегда оставляет недопустимую вероятность пропуска дефективных деталей или некачественных пищевых изделий, приводящих к нарушениям производственной цепочки далее на линии, или отгрузки некачественной продукции. Автоматический контроль в потоке производимой продукции на предприятиях молочной промышленности, с другой стороны, обеспечивал бы 100% гарантию и способствовал повышению эффективности работы линий производства кефира. Недавние достижения в эффективности обработки видео гарантируют, что визуальный контроль не станет препятствием на пути к максимальной производительности [97].

Все термины операций над изображениями связаны с преобразованием изобразительной информации, однако отличаются тем, что именно подается на вход, а что – на выход. В случае обработки изображений как входной, так и выходной информацией является изображение.

В настоящее время выделяют несколько направлений развития СКЗ:

- Face recognition — распознавание лиц, эмоций. (Этот сервис активно применяется в сфере безопасности, и не только);
- Image recognition — распознавание объектов, товаров или предметов по фото. (Направление, которое сейчас активно развивается в ретейле. Еще в 2014 г. компания Coca-Cola заявила о начале применения в России технологии распознавания товара на полке при помощи компьютерного зрения);
- 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);
- OCR (optical character recognition) — распознавание рукописного, печатного или машинописного текста. (Эта технология позволяет преобразовывать различные типы документов (отсканированные документы, PDF-файлы или фото с цифровой камеры) в редактируемые форматы с возможностью поиска и распознавания любого формата текста, в том числе рукописного).

1.9. Выводы по 1 главе

Проведен поэлементный всесторонний анализ всех стадий производства кефира и на его основе определены необходимые точки контроля и регулирования.

Проработаны требования, предъявляемые к качеству кефира. Проанализированы все факторы, формирующие его качество.

Осуществлен выбор наиболее важных органолептических показателей качества, подлежащих автоматическому контролю при производстве кефира.

Рассмотрены существующие методы и средства органолептического контроля показателей качества кефира. Проведенные исследования показали, что к настоящему времени датчиков автоматического контроля органолептических показателей кефира не имеется. Была поставлена задача автоматизации

контроля в потоке выявленных выше основных органолептических показателей качества кефира с использованием ИНС и системы компьютерного зрения (СКЗ).

Рассмотрены существующие методы и средства физико- химического контроля показателей качества кефира и представлены существующие цифровые приборы для контроля этих показателей.

Проанализированы существующие методы и средства микробиологического контроля показателей качества кефира и представлены наиболее эффективные современные средства для контроля этих показателей.

Рассмотрена возможность применение нейросетевых технологий (НСТ) и систем компьютерного зрения (СКЗ) в составе интеллектуальной адаптивной системы контроля и управления качеством кефира.

ГЛАВА 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, МУЛЬТИАГЕНТНОЕ ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ОСНОВНЫХ ЭТАПОВ ТП ПРОИЗВОДСТВА КЕФИРА

2.1. Обоснование потребности в имитационном моделировании производства кефира

Имитационное моделирование является одним из наиболее часто используемых методов решения задач синтеза и анализа сложных процессов и систем [32], которые позволяют создавать модели, описывающие происходящие реальные процессы. Такие модели возможно прокручивать и испытывать в контролируемом времени, что позволяет получить более достоверную статистику [58, 67]. В некоторых источниках [59, 74] показано, что имитационная модель может быть использована для оценки эффективности функционирования всех этапов исследуемого объекта.

Использование имитационных моделей дает много преимуществ по сравнению с проведением экспериментов в реальной системе и использованием других методов. Так, эксперименты над реальными системами и другие экспериментальные методы уступают экспериментам над имитационной моделью в виртуальном пространстве. Использование имитационного моделирования позволяет изучить поведение системы во времени и применяется оно в случаях, когда проведение экспериментов над реальной системой нецелесообразно. Например, по причине дороговизны создания прототипа, либо из-за длительности проведения эксперимента в реальном масштабе времени. Весомым плюсом является то, что временем в модели можно управлять: замедлять в случае с быстропротекающими процессами и ускорять для моделирования систем с медленной изменчивостью. Можно имитировать поведение тех объектов, реальные эксперименты с которыми

дороги, невозможны или опасны. С наступлением эпохи персональных компьютеров производство сложных и уникальных изделий, как правило, сопровождается компьютерным трёхмерным имитационным моделированием. Эта точная и относительно быстрая технология позволяет накопить все необходимые знания, выбрать оптимальные варианты будущего оборудования и технологий для будущего изделия до начала его производства.

Даже при наличии имеющейся в настоящее время высокой автоматизации производственных процессов производства кефира, молочные предприятия нуждаются в имитационных моделях производственных процессов, так как данная модель позволит виртуально производить:

- различные изменения в структуре линии производства кефира для получения более высокой рентабельности;
- оценку устойчивости оборудования на длительном промежутке времени, при непрерывном производстве, тем самым выявлять узкие места производственной линии;
- имитацию модернизации производства, не осуществляя серьезных финансовых затрат.

К преимуществам имитационных моделей относятся: стоимость, время, повторяемость, точность, наглядность и универсальность.

Существует три вида имитационного моделирования, это:

- агентное имитационное моделирование, которое позволяет исследовать поведение децентрализованных агентов и то, как такое поведение влияет на поведение всей системы в целом;
- системная динамика – исследует поведение сложных систем: 1) во времени; 2) в зависимости от структуры элементов системы и 3) в зависимости от тесноты взаимодействия между элементами системы;
- дискретно-событийное моделирование – подход к моделированию, предлагающий абстрагироваться от непрерывной природы событий и рассматривать только основные события моделируемой системы. При дискретно-

событийном моделировании исследуется функционирование системы в целом, то есть функционирование системы представляется как хронологическая последовательность событий такие как: «ожидание», «обработка заказа», «движение с грузом», «разгрузка» и другие. При разработке имитационной модели рассматриваются только основные события.

Разработка имитационной модели позволит структурировано отобразить все этапы производства кефира и оценить количественные показатели при выпуске продукции, что способствует оптимизации данного производственного процесса и повышению его эффективности.

В данной работе для производства кефира используется агентная имитационная модель, которая не только отображает действительность с той или иной степенью точности, а имитирует работу линии производства кефира. Также модель дает возможность прокрутить работу системы в ускоренном или замедленном формате. Время в модели можно изменять по необходимости. Преимуществами имитационного моделирования также являются:

- уменьшение издержек при проектировании;
- получение полного набора различных показателей производства без надобности его постройки и затрачивания большого количества времени для расчёта данных показателей вручную;
- уменьшение ошибок при расчётах;
- уменьшение времени проектирования производства;
- уменьшение денежных затрат на проектирование;
- влияние на время проходящих процессов: их замедление или ускорение.

В данной главе рассмотрен анализ всех технологических процессов производства кефира на молочном предприятии с точки зрения основных событий. И на основании анализа полученных данных построена дискретно-событийная модель производства кефира, что позволит перейти к проведению намеченных исследований.

Для проведения исследований было использовано программное обеспечение AnyLogic для имитационного моделирования сложных систем и процессов, разработанное российской компанией The AnyLogic Company. AnyLogic включает в себя графический язык моделирования, а также позволяет пользователю расширять созданные модели с помощью языка Java. Интеграция компилятора Java в AnyLogic предоставляет более широкие возможности при создании моделей, а также создание Java апплетов, которые могут быть открыты любым браузером. Эти апплеты позволяют легко размещать модели AnyLogic на веб-сайтах. В дополнение к Java-апплетам, AnyLogic Professional поддерживает создание Java-приложений. В этом случае пользователь может запустить модель без инсталляции AnyLogic.

Для создания имитационных моделей производства кефира использовались элементы «Основной библиотеки» AnyLogic, которая поддерживает дискретно-событийный или «процессный» подход моделирования. С помощью объектов основной библиотеки, возможно моделировать системы реальных процессов, динамика которых представляется как последовательность операций (прибытие, задержка, захват ресурса, разделение, и прочее) над агентами (например, заявками). Эти агенты в сущности пассивны, они сами не контролируют свою динамику, но могут обладать определёнными атрибутами, влияющими на процесс их обработки (например, сложность работы) или накапливающими статистику (общее время ожидания, стоимость и т.д.).

Процессы задаются в форме потоковых диаграмм (блок-схем) - графическом представлении, принятом во многих областях: производстве, бизнес-процессах, центрах обработки звонков, логистике, здравоохранении и т.д. Потоковые диаграммы AnyLogic иерархичны, масштабируемы, расширяемы и объектно-ориентированы, что позволяет пользователю моделировать сложные системы любого уровня детальности [38, 74]. Другой важной особенностью Библиотеки Моделирования Процессов является возможность создания достаточно сложных анимаций процессных моделей. Как и все в AnyLogic, процессная модель может быть расширена до любого требуемого уровня детальности с необходимой нестандартной функциональностью. Базовые типы агентов и ресурсов могут быть расширены собственными разработками

любого типа с любыми дополнительными параметрами и методами. Указав эти типы в параметрах объектов библиотеки, получаем более простой доступ ко всем технологическим и режимным параметрам производства кефира.

2.2. Имитационное моделирование производства кефира на молочном предприятии

Для проведения имитационного моделирования был проведен анализ структуры производства кефира с точки зрения основных событий моделируемой системы.

2.2.1. Структура производства кефира как логико-математического объекта имитационного моделирования

Основное производство кефира на молочном предприятии состоит из трех участков: аппаратно-сырьевой цех; участок розлива и упаковки; участок хранения готовой продукции кефира.

При детализированном рассмотрении аппаратно-сырьевого цеха, можно выделить следующие основные участки производства кефира: участок приемки сырого молока; участок производства и хранения пастеризованного молока; участок нормализации молока; участок производства стерилизованного и пастеризованного молока; участок сквашивания, заквашивания и созревания кефира; участок розлива кефира.

Предприятие молочной продукции как логико-математический объект производства кефира может быть представлен в виде многофазной многоканальной разомкнутой системы с ожиданием приемки молока (рисунок 2.1).

Аппаратно-сырьевой цех

На молочном предприятии технология производства кефира полностью автоматизирована и включает в себя ТП и участки по переработке молока, подготовке закваски и выпуску кефира, а также другой молочной продукции.

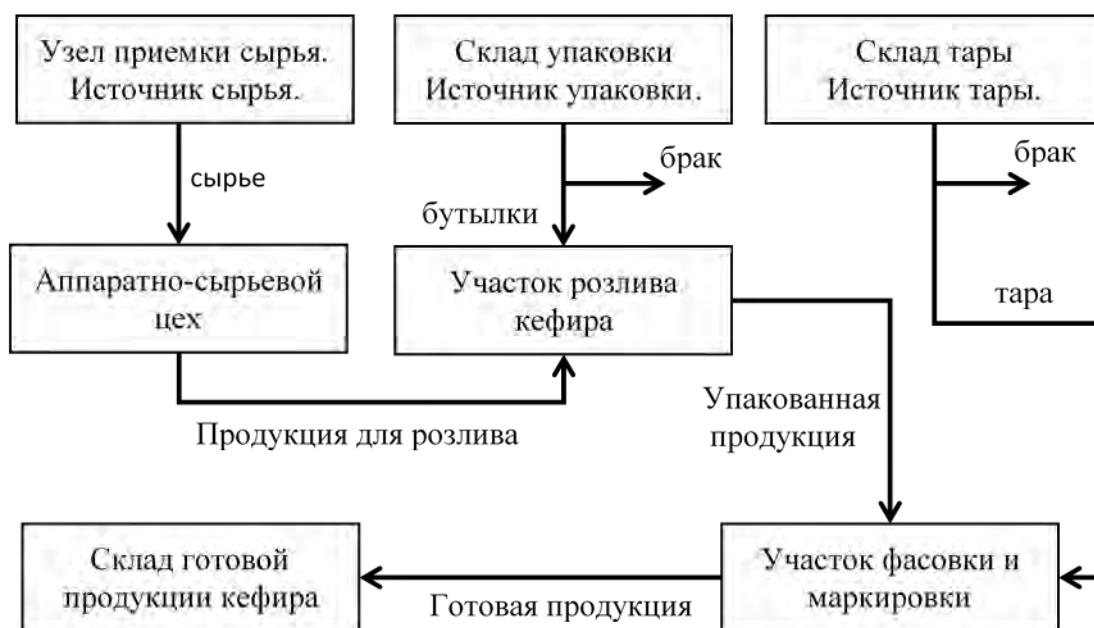


Рисунок 2.1. Структура производства кефира как логико-математического объекта управления

Анализ литературных источников и научных статей по данному вопросу показал, что проблема повышения эффективности производства кефира может быть решена на базе автоматизации контроля органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции с использованием интеллектуальных технологий, что будет способствовать быстрой и эффективной перестройке технологических режимов производства, а также режимных параметров используемого технологического оборудования [77, 78].

Участок приемки сырого молока

Узел забора молока включает в себя 3 модуля приемки MRU-2, охладитель сырого молока, производительность которого 3 x 25 000 л/час и систему хранения сырого молока, состоящую из пяти изолированных танков, емкостью 75 000 л. каждый.

Автоцистерны подсоединяются к приемной линии молока с помощью шланга. Молоко подается самотеком, а затем перекачивается в охладитель, после чего поступает в систему хранения сырого молока.

Участок производства и хранения пастеризационного молока.

Система пастеризации и хранения молока состоит из двух пастеризаторов молока и 10 резервуаров хранения пастеризованного молока 20 000 л каждый. На молочных предприятиях используются пастеризаторы молока Тетра Терм Лакта 10 – М 20.

Нормализованные сливки с пастеризационных установок охлаждаются на охладителях для сливок (производительность охладителей 1000 – 3000 л/час) и подаются для хранения в буферные емкости. Система хранения молока состоит из десяти резервуаров, емкостью по 20 000 л. каждый. Буферная система хранения непастеризованных сливок состоит из трех резервуаров емкостью по 10 000 л.

Сырое молоко подается в пастеризатор молока, затем молоко подвергается охлаждению в пастеризационной установке, после чего подается в резервуары хранения пастеризованного молока. Непастеризованные сливки при температуре сепарирования поступают на охладители сливок и после охлаждения перекачиваются в резервуары для хранения сырых сливок. Возможно выдерживание сливок в резервуаре хранения до 3 часов.

Участок нормализации молока (смешивания/восстановления молока)

Основными компонентами в установках ТМВ-2 с производительностью до 100-225 кг/ч является смесительное устройство, расположенное в нижней части смесительного танка. Смесительное устройство обеспечивает получение продукта, не содержащего комков, обеспечивая необходимую жирность кефира и его оптимальную обработку. Оборудование для смешения и восстановления молока состоит из четырех танков емкостью по 15 000 л каждый, технологической клапанной обвязки и 2 теплообменников (производительность 10 000 л/час).

Участок производства стерилизованного молока и закваски для кефира

Система стерилизации молока состоит из стерилизатора, деаэратора, гомогенизатора и спирального выдерживателя на 300 секунд.

Опорожнение пастеризатора происходит в выбранный буферный резервуар сливок или в танки для ферментации кефира путем выталкивания молока/сливок водой. Смесь воды и молока/сливок направляется в буферный резервуар.

Закваска для кефира

Система подготовки закваски состоит из четырех резервуаров, 2 танков емкостью по 300 л. и 2 танков емкостью по 2000 л. Резервуары оборудованы кожухом и змеевиком для нагрева паром, а также охлаждения водой. Молоко нагревается до температуры пастеризации в резервуаре, после чего выдерживается в течение определенного периода времени. После выдерживания молоко охлаждается до температуры ферментации.

Добавление заквасочной культуры производится в емкость 300 л. через люк. Мешалка работает в течение определенного заданного периода времени для замешивания заквасочной культуры в молоко. После смешивания молоко подвергается ферментации в резервуаре.

Производство кефира

Молоко охлаждается до температуры ферментации в пастеризаторе, после чего подается в ферментационные резервуары. После выгрузки молока из пастеризатора к ферментационным резервуарам молоко смешивается в линии с предварительно заданным количеством заквасочной культуры, которая подается из отделения приготовления закваски в пропорции 5% от общего запланированного объема продукта.

В ферментационных резервуарах мешалка резервуара работает в течение наполнения резервуара и 15 минут по окончании наполнения для замешивания заквасочной культуры в молоко. После смешивания молоко подвергается ферментации в резервуаре в течение определенного заданного периода времени. В процессе ферментации мешалки подлежат остановке. По окончании сквашивания полученную продукцию (кефир), перекачивают в свободный резервуар и затем направляют на автомат для фасовки.

Участок розлива, маркировки и упаковки

Розлив, маркировка и упаковка продукции кефира производится на автоматизированных линиях, по которым подаются бутылки и разливаемый продукт - кефир. В состав линий входят расфасовочные аппараты A3FlexPT, A3Flex DIMC, TT3, ТРЕРКО 106 KSF, оборудование маркировки и аппликаторы крышек ТСА49 [79].

При продвижении к расфасовочному аппарату проводится дезинфекция бутылок и кратковременное воздействие на них горячей проточной водой.

Как только бутылки промыты, производится заполнение их кефиром, поступающим по трубопроводам, с участков аппаратно-сырьевого цеха. После этого сразу же осуществляется герметизация емкости крышками и маркировка бутылок. По данным предприятия процент брака упаковочного материала составляет до 1,5% от годовой потребности в упаковочном материале и такой же процент брака получается при маркировке бутылок кефира.

Участок укладки продукции и хранения продукции

На данном участке готовый продукт подготавливается к дальнейшей транспортировке в торговые сети. С участка розлива, упаковки и маркировки готовая продукция поступает на участок укладки по роликовому транспортеру.

С помощью оборудования для групповой упаковки осуществляется формирование паллет, укрепление паллет полиэтиленовой пленкой и передача с помощью транспортера в холодильную камеру. Паллеты формируются на деревянных поддонах.

По данным предприятия процент брака на этом участке составляет от 0,1% до 3,0% годовой потребности в упаковочном материале. Для хранения кефира предусмотрены холодильные камеры с температурой 0°C, хранение стерилизованной продукции производится в неохлаждаемых помещениях.

Проведенный анализ технологических процессов производства кефира на молочном предприятии позволил перейти к созданию виртуальных моделей всех этапов процесса производства кефира.

2.2.2. Описание среды разработки

Для разработки мультиагентной имитационной модели производства кефира была выбрана среда AnyLogic - единственное программное обеспечение (ПО) для мультиагентного моделирования. В AnyLogic агентное моделирование комбинируется с дискретно-событийным подходом или системной динамикой. Также разработка модели сопровождается дружелюбным и удобным интерфейсом в среде разработки, позволяющим не затрагивать код программы. Важным дополнением является наличие библиотеки моделирования процессов. Она позволяет реализовывать сложные процессы, разделяя их на связанные между собой отдельные составляющие, и преобразовывать процессы, используя агентные модели. Кроме того, доступно совмещение с другими библиотеками без потери единства процесса. Имеется встроенная визуализация процесса и статистика по времени с отображением её во временном графике.

2.2.3. Разработка информационно- аналитической мультиагентной системы имитационного моделирования производства молока – основного сырья производства кефира

Одним из сложно реализуемых процессов, для которых актуально применение методов имитационного моделирования – это процесс производства молока - основного сырья кефира.

Для детального рассмотрения работы исследуемой линии и используемого при этом оборудования было проведено множество экспериментов, осуществлен выбор оптимальных технологических и режимных параметров их работы. Экспериментальные исследования проводились в виртуальном пространстве с применением технологий имитационного моделирования.

Для выбора максимально рационального варианта исследуемого производства молока были рассмотрены разнообразные варианты управления этими процессами. При проведении экспериментов варьировались технологические и режимные параметры производства, что позволило в короткие сроки и без лишних затрат увидеть получаемые результаты.

В целом, для любого молочного предприятия производство молока состоит из одинаковых для всех видов линий операций. Линии работают по единой схеме с использованием одинакового оборудования. Из-за этого возможно найти новый подход к оптимизации исследуемого производства в условиях жесткой конкуренции. Для получения готового продукта высокого качества необходима стабильная, эффективная работа всех этапов производства молока.

Методы мультиагентного имитационного моделирования позволяют оценить реализуемость различных вариантов составленного плана производства молока, рассчитать ожидаемые сроки его выполнения, спрогнозировать необходимые выходные параметры каждого этапа этого производственного процесса, а также идентифицировать внутренние процессы при моделировании системы и дать рекомендации по актуализации параметров, направленных на оптимизацию всего производственного процесса.

При разработке мультиагентной модели производства молока была проанализирована существующая на молочных предприятиях функциональная схема автоматизации и рассмотрены все этапы этого процесса. Объектом исследования являлись основные участки поточной технологической линии получения молока: участок приёма молока; участок хранения и переработки молока.

2.2.3.1. Моделирование процесса приёма молока

В данном разделе предметом исследования являлся участок приёма молока в совокупности с поставщиком молоковозов, а также изменяемые пара-

метры для конфигурирования модели и дальнейшего проведения экспериментов. Выделены следующие изменяемые параметры: количество приезжающих молоковозов и их объём, время между прибытиями молоковозов, производительность насосов, объем бака, находящегося на участке приёмки молока.

Приемка молока – один из наиболее значимых и ответственных процессов. Поэтому применение автоматизации отдельных операций и оборудования на этом участке позволяет обеспечить более качественный отбор молока, вести контроль над процессами его транспортировки и учета. Автоматизация приемного участка дает производителю возможность собрать и тщательно проанализировать информацию о том, сколько и какого качества молока пришло, сколько осталось для работы, каковы потери на каждом участке и т.д.

Основные модули приемно-аппаратного участка полностью автоматизированы. На участках хранения сырого и пастеризованного молока все резервуары оснащены датчиками уровня, температуры; процесс контроля объема поступающего молока полностью автоматизирован. Конструктивно предусмотрена возможность приемки молока различного качества по свободным контурам молокопроводов в отдельные резервуары. Информация о заполнении емкостей отражается на мониторе. И принятие решения о приемке поступившего сырого молока, его сортировке и выборе направления переработки оператор принимает самостоятельно.

Современное приемное отделение молокоперерабатывающего завода, кроме учета поступления количества сырья и регистрации качественных показателей, необходимых для определения закупочных цен, должно обеспечивать: сортировку сырья по показателям для дальнейшей переработки; резервирование и надлежащее хранение; учет подачи сырья на переработку; надлежащую санитарную обработку оборудования и трубопроводов.

Лаборатория осуществляет контроль качества поступившего молока, определяет его основные показатели. Система автоматизации дает возможность запротолировать показатели качества молока-сырья и данные о его

количестве, что позволяет далее проследить, для каких целей это молоко было использовано.

Молоко характеризуется определенными физико-химическими, органолептическими и технологическими свойствами. Они могут меняться под влиянием различных факторов (стадии лактации, болезни животных, условий содержания и кормления и т. д.), а также при фальсификации молока. Поэтому их определение позволяет оценить натуральность, качество молока и пригодность его к переработке в различные виды кефира.

Приемка молока-сырья — процедура, проводимая для установления соответствия фактических показателей качества молока-сырья нормированным значениям и оформления документа, устанавливающего его сорт.

Современное приемное отделение молокоперерабатывающего завода, кроме учета поступления количества сырья и регистрации его качественных показателей, необходимых для определения закупочных цен, должно обеспечивать: сортировку сырья по показателям для дальнейшей переработки; резервирование и надлежащее хранение; учет подачи сырья на переработку; надлежащую санитарную обработку оборудования и трубопроводов.

Новые параметры безопасности предполагают и новые требования к оборудованию, особенно к организационной схеме его применения, т. е. к исключению влияния человека на проведение технологических операций и, в первую очередь, на взаимодействие работников подразделений приемного отделения. С учетом объема поставки сырья и объема реализации по ассортименту строится технологический график работы оборудования завода согласно временным регламентам технологических инструкций.

В соответствии с этим графиком операторам выдается расписание работы оборудования. Для работы приемного отделения, исходя из выполняемых операций, планируются следующие посменные производственные задания:

1. График поступления молоковозов с учетом количества и качества формируется на основе статистического анализа плана закупок.

2. График поставки сырья на производство с учетом количества и качества формируется на основе статистического анализа плана производства.

На основании проведенных исследований разработана функциональная схема автоматизации (ФСА) приемки молока, представленная на рисунке 2.2.

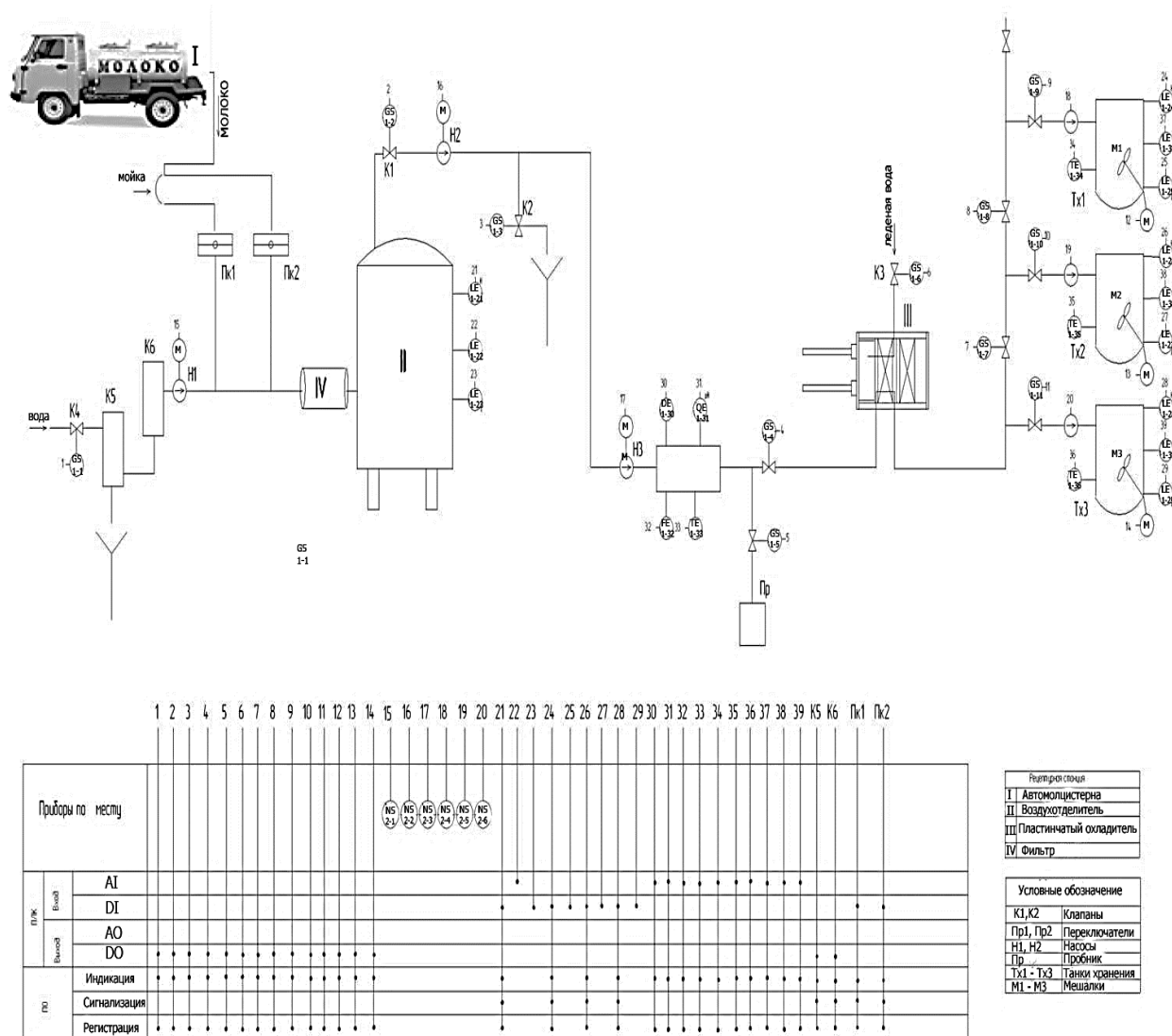


Рисунок 2.2 Функциональная схема автоматизации приемки молока

I - автомолцистерна; II – вакуумный воздухоотделитель; III - охладитель пластинчатый; IV - фильтр; K1, K2, K3, K4, K5, K6 - клапаны; Пк1, Пк2 - переключатели; N1, N2, N3 - насосы; Пр - пробник; Tx1, Tx2, Tx3 - танки хранения; M1, M2, M3 - мешалки.

На ФСА показана компоновка клапанов и технических средств автоматизации (датчиков) для одного поста приемки, иллюстрирующая режимы работы и управления оборудованием участка в комплексе.

Приемка молока начинается по приезду автомолцистерны I. Автоцистерна подключается с помощью соединителей (шлангов) к посту приемки молока. Соединители должны быть оснащены переключателями, передающими дискретный сигнал о подключении.

Из автомолцистерны I через фильтр IV молоко поступает в вакуумный воздухоотделитель II. Уровень молока в баке контролируется с помощью датчиков уровня 21, 22, 23. При достижении верхнего уровня в балансном баке I, открывается клапан 2 и молоко насосом НЗ под управлением частотного преобразователя направляется в пластинчатый охладитель III.

Работа преобразователя заключается в следующем: при малых расходах жидкости двигатель насоса вращается с малой скоростью, необходимой только для поддержания номинального давления, и не расходует лишней энергии. При увеличении расхода жидкости преобразователь увеличивает частоту вращения электродвигателя, повышая производительность насоса при сохранении заданного давления.

При этом продукт проходит через сеть датчиков: плотномера 30 для определения плотности молока, термометра сопротивления 33 для контроля текущей температуры продукта и массового расходомера 32, показывающего его массу. Показатели плотности, массы и температура визуализированы на экране у операторов. Погрешность измерения расходомера около 0,1%. Датчик расхода обеспечивает также выдачу цифрового сигнала по месту на дисплей для обработки информации. Сбор молока для анализа качества осуществляется открытием клапана 5 и слива молока в пробник Пр. При завершении сбора клапан 5 закрывается.

Обратный клапан 4 служит для предотвращения движения потока в обратную сторону. Жидкость поступает в охладитель III. Через клапан 6 хладагент (холодная вода) при температуре 2-3 °С постоянно поступает на охладитель. Температура поступающего молока не более 10 °С. Из-за невозможности контроля температуры в каждом танке хранения используют пластинчатый охладитель III, через который после прохождения молоко

при температуре 2-4°C с использованием исполнительных механизмов 7,8 и 9 центробежным насосом 18 направляется в танк хранения Тх1(Тх2, Тх3).

Емкость танков колеблется от 120 до 250 тонн. Каждый танк хранения Тх1, Тх2, Тх3 оснащен мешалками; термометрами сопротивления 34, 19, 20; датчиками верхнего 24,26,28 и нижнего 25,27,29 уровня, а также тензодатчиками 37,38,39 для контроля уровня продукта. При хранении молока мешалку периодически запускают перемешивающим механизмом через каждые 10 секунд. Это позволяет продлить срок хранения продукта.

Для приемки молока предусмотрены линии производительностью 25000 л/ч, укомплектованные измерительными устройствами, которые установлены в специальном помещении. На молочных предприятиях имеются:

- «Журнал приемки» - для просмотра и распечатки приемщиком (без возможности редактирования) журнала регистрации данных о принятом за смену сырье.
- «Контроль качества» - для просмотра и распечатки приемщиком (без возможности редактирования) журнала регистрации качественных показателей принятого за смену сырья.

В группе полей «Вывод параметров принимаемого сырья» отображаются измеренные значения объема, массы, плотности, температуры, кислотности (рН и титруемой), полученных от измерительных приборов, встроенных в каждую линию приемки. Здесь же регистрируется начало и конец приемки. Оператор имеет возможность просматривать значения параметров за требуемые интервалы времени.

На экране «Участок приемки» условно изображена функциональная схема секции автоматизированного измерения принятого сырья. В таблице рядом с функциональной схемой каждой линии расположена таблица текущих измерений, получаемых от расходомера (суммирующий счётчик литров, поток, фактическая плотность сырья и его температура) и измерителя рН.

Для автоматического заполнения резервуаров по определенным видам создается алгоритм их заполнения и опорожнения на основе среднестатистического графика поступления сырья и очередности поставки сырья на производство. Таким образом, формируется основной базовый документ (график заполнения и опорожнения резервуаров) для работы автоматизированной системы управления производством (АСУП) приемного отделения.

В реальности происходят изменения как в графике поставки сырья (из-за непредсказуемости поставщиков), так и в очередности, или объемах его поставки на производство (из-за изменения среднесрочного плана производства). Эти изменения вводятся в программу для автоматического перестроения графика заполнения и опорожнения с учетом реальных остатков на данный момент. Для решения этих задач должны быть выполнены как минимум следующие обязательные требования:

1. Поточная установка приемки, должна быть оснащена следующими приборами: датчиком температуры; счетчиком–расходомером; управляемой клапанной гребенкой.
2. Емкости для резервирования, должны быть оснащены следующими средствами: датчиком заполнения (массы или уровня); управляемыми клапанами наполнения/опорожнения; управляемыми клапанами подачи и возврата моющих растворов.
3. Распределительное устройство подачи на производство, должно быть оснащено следующими средствами: управляемой клапанной гребенкой; счетчиком–расходомером.
4. Установка санитарной обработки, оснащенная системой автоматического выполнения регламента санитарной обработки для всех объектов.

Программа управления сама сортирует и регулирует распределение поступающего сырья в специализированные резервуары, определяет очередность их опорожнения согласно плану производства и дает команду оператору санитарной установки для мойки соответствующего маршрута или объекта.

Кроме того, параллельно решаются вопросы коммерческого учета поступающего сырья, учета сырья, поданного на производство, и учета остатков сырья в резервуарах по сортам.

Рассмотренная функциональная схема автоматизации (ФСА) (рисунок 2.2) и важнейшие вышеперечисленные параметры производства позволили создать мультиагентную модель процесса приемки молока, схема которой приведена на рисунке 2.3.

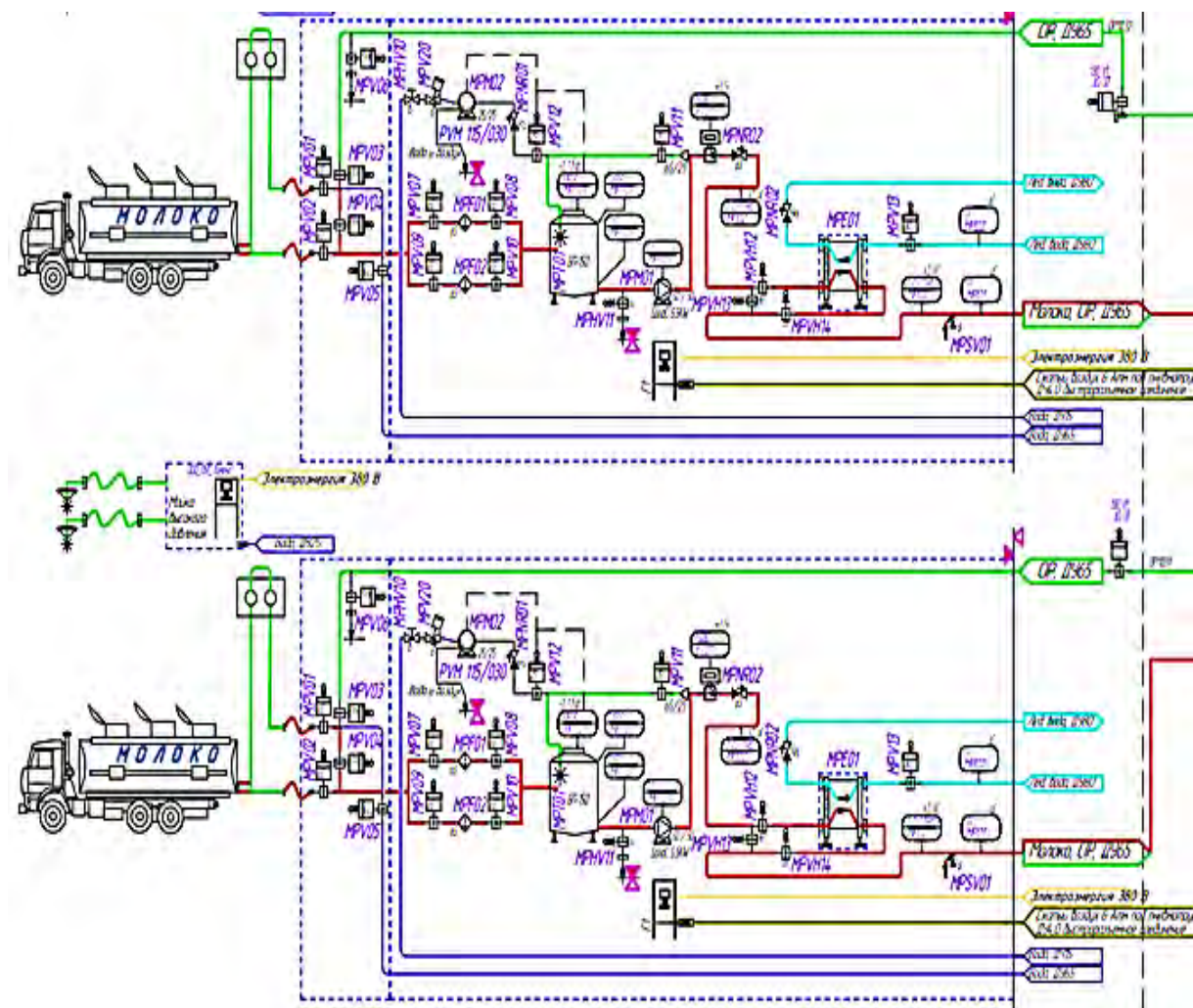


Рисунок 2.3 Схема мультиагентной модели процесса приемки молока

Принцип работы модуля приёмки молока описывается с использованием ФСА.

Приезжающие молоковозы подключаются шлангами к участку приёмки молока. Далее сырое молоко из молоковозов поступает в бак МРТ01, находящийся на участке приёмки молока. После бака МРТ01, молоко попадает на

охладитель MPE01, в котором молоко охлаждается до необходимой температуры для дальнейшей транспортировки на участок хранения при помощи линии наполнения.

Через охладитель MPE01 молоко поступает в распределительную гребёнку, которая, в свою очередь, перестраивает маршрут, и наполняет или опорожняет резервуары, находящиеся на участке хранения молока.

Описав функциональную схему участка приёма молока, представляется возможным ее реализация в среде имитационного моделирования AnyLogic, на основе мультиагентного подхода. Целью исследования является создание в соответствии с технологическим процессом производства мультиагентной модели участка приёма молока с поставкой молоковозов, с изменяемыми параметрами, проведения виртуальных экспериментов и выявление узких мест при том или ином наборе контролируемых параметров для достижения более рационального использования ресурсов производства. Для разработки и исследования мультиагентной модели были воспроизведены все отмеченные выше этапы производственного процесса.

Для создания имитационной модели модуля приёма молока было использовано программное обеспечение (ПО) AnyLogic и встроенные библиотеки для дискретно-событийного моделирования, а также моделирования потоков.

При моделировании были выделены следующие части модуля приёма молока: поставщик молоковозов, преобразователь агента “Молоковоз” в поток, бак MPT01, охладитель MPE01. Поставщик молоковозов и модуль приёма молока являются разными и не зависимыми друг от друга агентами для более гибкой настройки, а также переиспользования агентов в других проектах.

Задача агента MilkCarProvider (поставщик молоковозов) поставлять определённое количество молоковозов определённого объема через заданные интервалы времени. Агент имеет три изменяемых параметра: carCount (коли-

чество молоковозов), `carRemainingInParking` (количество молоковозов, оставшихся на парковке и `timeBetweenArrivals` (время между прибытиями). Объект `millkCarSource` служит для генерации молоковозов. В свойства ему передаётся параметр `timeBetweenArrivals`, чтобы объект знал, с какой периодичностью необходимо генерировать молоковозы, а также параметр `carCount`, чтобы генерировать объекты в заданном количестве.

При выходе агента “Молоковоз” из объекта `millkCarSource`, выполняется инкремент параметра `carRemainingInParking` на единицу. Это означает, что сгенерированный молоковоз поступил на парковку и ожидает подключения к модулю приёмки молока. Далее сгенерированные объекты попадают в очередь ожидания `carQueue`. Затем объекты поступают в блок `nextFreeMilkCar`, к которому обращается агент модуля приёмки и берёт молоковозы для дальнейшего использования, если такие имеются. При выходе агента “Молоковоз” из объекта `nextFreeMilkCar`, выполняется декремент параметра `carRemainingInParking` на единицу. Это означает что сгенерированный молоковоз покинул парковку. В дальнейшем, параметр `carRemainingInParking` отображается на визуальном представлении агента для визуализации количества оставшихся молоковозов.

Схема модели поставщика молоковозов и её визуальное представление показаны на рисунке 2.4.

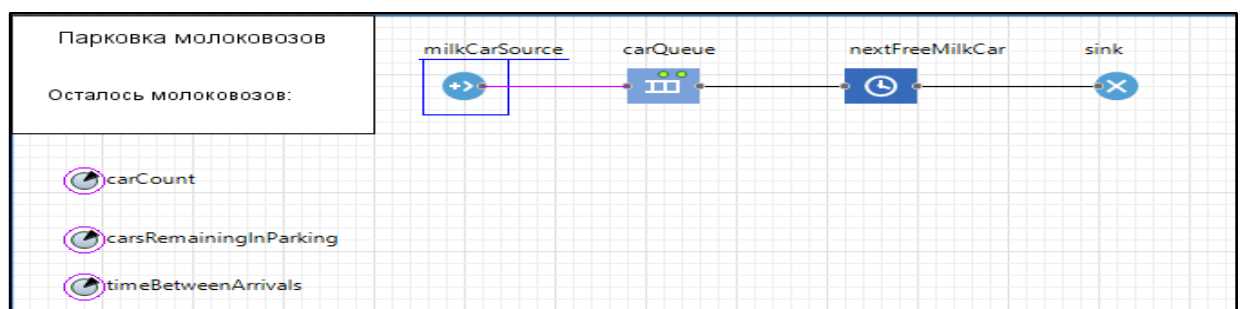


Рисунок 2.4. Схема модели поставщика молоковозов и её визуальное представление

Задача MilkReceivingStation (станция приёмки молока) брать объект молоковоз у агента MilkCarProvider, преобразовывать в объем молока, найти свободную линию и, используя её, наполнить резервуар, находящийся на участке хранения молока.

У агента MilkReceivingStation объявлены следующие 7 переменных параметров: id (идентификатор), milkCarSize (объем одного молоковоза), statusIndex (идентификатор состояния), statusStr (строковое представление состояния), outputSpeed (производительность насоса), tankSize (объем бака MPT01), fillingLine (ссылка на агента линии наполнения).

Объект carSource в данном случае не генерирует объекты «Молоковоз», а наполняется за счёт вызова функции inject(). Данную функцию вызывает этап блок схемы, с помощью которой в ПО AnyLogic есть возможность реализовать схему работы агента. Блок схема модуля приемки молока представлена на рисунке 2.5.

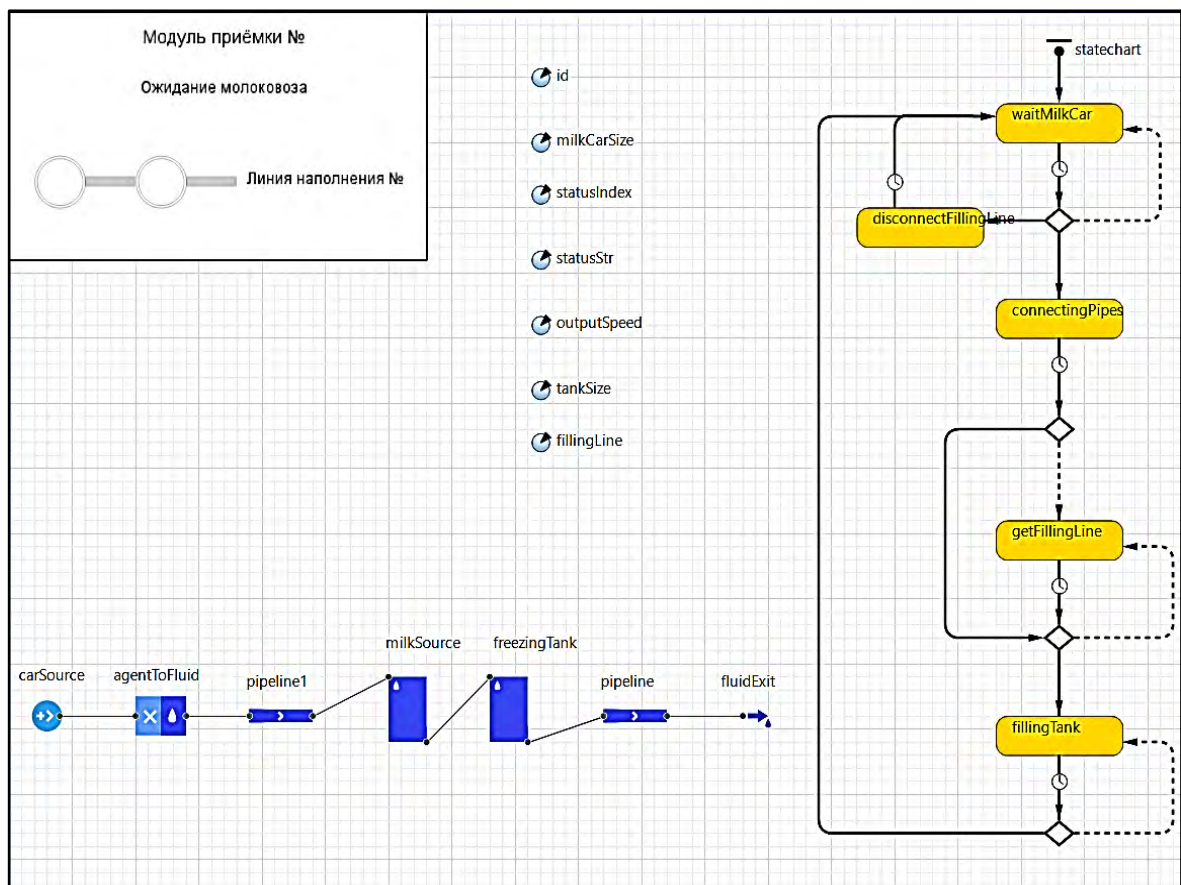


Рисунок 2.5. Модель модуля приёмки молока, её визуальное представление и диаграмма состояний

В блоке `waitMilkCar` (ожидание молоковоза) выполняется Java код, суть которого обратиться к агенту `MilkCarProvider` и запросить из объекта `nextFreeMilkCar` следующий молоковоз при значении `carRemainingInParcking` больше нуля. После того, как агент получил следующий молоковоз на разгрузку, идёт этап блок -схемы под названием `connectingPipes` который длится 15 минут и симулирует этап подключения шлангов к молоковозу. Объект `agentToFluid` служит для преобразования объекта «молоковоз» в определённый объём жидкости. Данный объект получает параметр `milkCarSize` для задания объёма в одном молоковозе. По объектам `Pipeline` (труба), молоко поступает сначала в `milkSource`, резервуар имитирующий бак MPT01, затем в `freezingTank`, резервуар имитирующий охладитель MPE01. Охлаждённое сырое молоко поступает в блок `FluidExit`. Блоки из библиотеки имитации потоков `FluidExit` и `FluidEnter` созданы для реализации динамической сети потоков. В данной модели, эти блоки служат для имитации распределительной клапанной гребёнки. У `FluidExit` есть метод `connect`, в который на вход подаётся объект `FluidEnter`. Данный метод соединяет `FluidExit` и `FluidEnter`, после чего поток из `FluidExit` будет переходить в `FluidEnter`, что позволяет динамически преобразовывать сеть потоков в зависимости от необходимой конфигурации.

Кроме объектов моделирования и визуального представления у агента присутствует так называемая схема состояний и переходов, позволяющая менять статус каждого агента.

Для задания параметров используется объект `Simulation`. В данном объекте при помощи элементов управления, встроенных в `AnyLogic`, реализована панель управления. Из заполняемых текстовых полей берутся значения, целочисленные функции `getIntValue()`. Далее данные значения присваиваются ранее описанным параметрам, находящимся в агенте `Main`.

Также `AnyLogic` предоставляет инструменты для построения различных графиков. В данном случае применим временную цветовую диаграмму и построим график состояний оборудования (рисунок 2.6). Таким образом, мы можем проанализировать в каких состояниях находятся наши агенты и выявить

узкие места. К примеру, анализируя график, продемонстрированный на рисунке 2.6, видно, что модуль приёмки работал первый час, а дальше идёт простой. Это означает, что при заданных параметрах отделение приёмки молока способно справиться с намного большими объёмами поставляемого сырья.

Таким образом, воспроизводя эксперимент с моделью участка приёмки молока, возможно оптимизировать параметры данного процесса и в динамическом режиме отследить режим работы оборудования, чтобы не допустить его простой, или не сделать его узким местом.

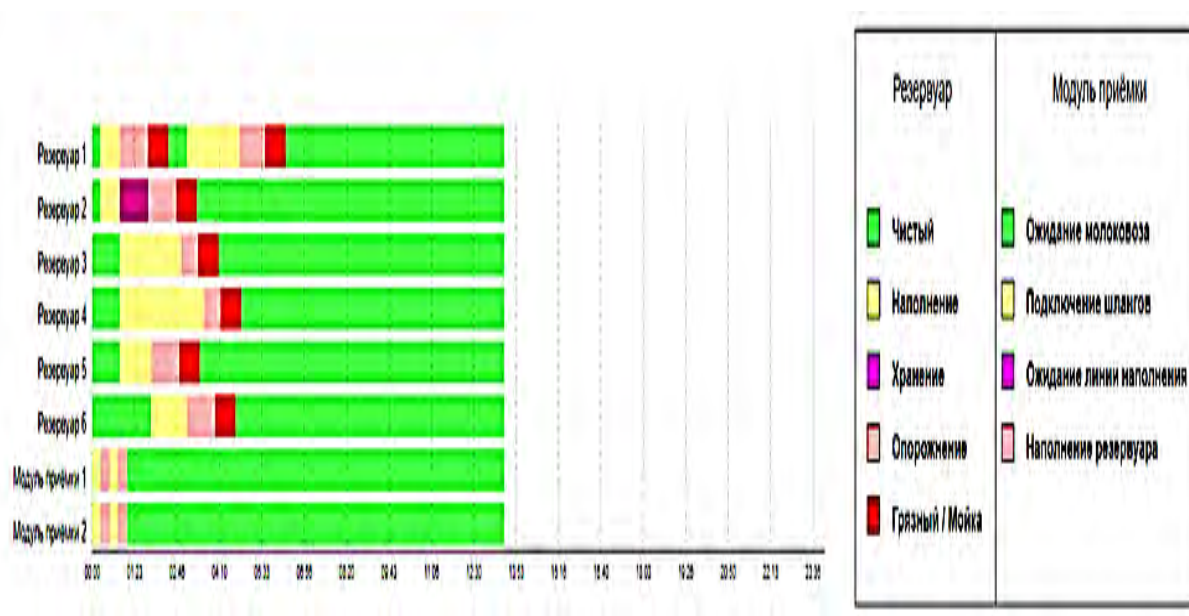


Рисунок 2.6. Временная цветовая диаграмма графика состояний используемого оборудования

Такие данные, в свою очередь, позволяют узнать, какое оборудование необходимо для достижения тех или иных оптимальных показателей производительности линии.

2.2.3.2. Моделирование участков обработки, хранения и переработки молока

Следующим предметом исследования являются: участки обработки, хранения и переработки молока, а также совокупность изменяющихся технологических параметров, влияющих на работу данных участков производства.

В настоящее время тепловая обработка молока получила широкое применение и стала важнейшей частью производства разнообразных молочных продуктов, в том числе и кефира.

Вид применяемой обработки и схема процесса зависят от вида конечного продукта. Процесс общей пастеризации молока является базовой операцией переработки молока и представляет собой важный этап *предварительной обработки* при производстве кефира.

Сочетание степени нагрева и его продолжительности – очень важный фактор, определяющий интенсивность тепловой обработки. Интенсивная тепловая обработка молока желательна с точки зрения борьбы с микроорганизмами. Но такая обработка предполагает риск отрицательного воздействия на внешний вид, вкус и питательную ценность молока.

Перед нагреванием осуществляется очистка молока с помощью сепараторов-молокоочистителей.

Проведенный обзор и анализ научных работ в этой области показал широкое распространение автоматической модернизированной пластинчатой пастеризационно-охладительной установки (ППОУ), представленной на рисунке 2.7 [78, 107].

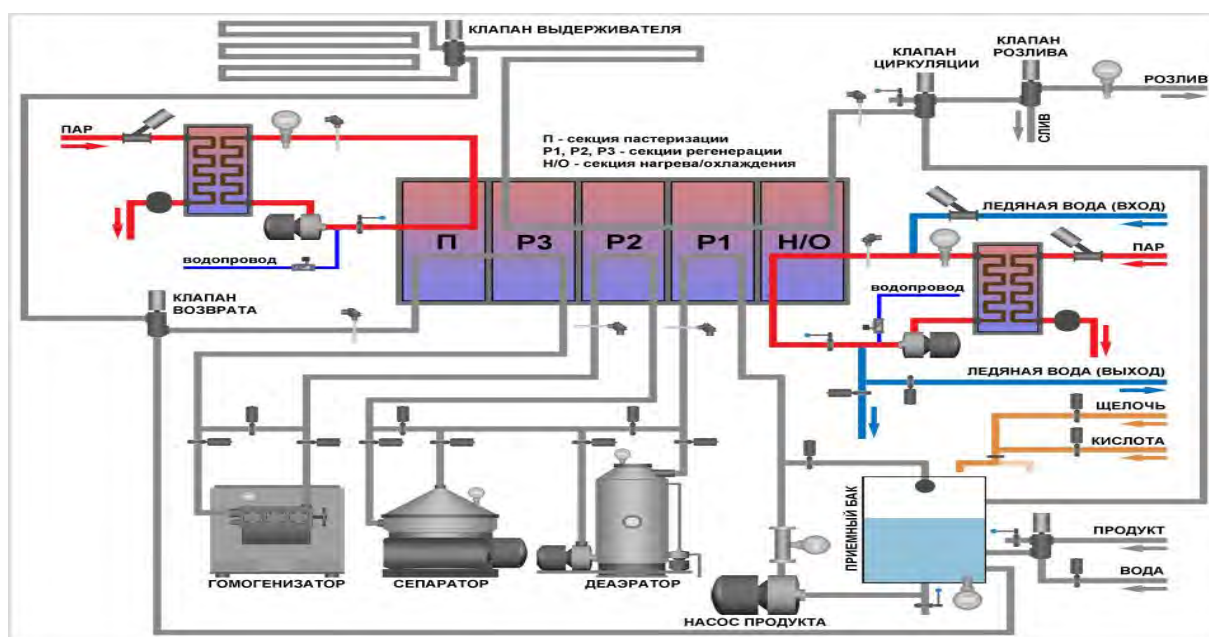


Рисунок 2.7. Схема пластинчатой пастеризационно-охладительной установки

Разработанная функциональная схема автоматизации (ФСА) участков обработки, хранения и переработки молока в пластинчатой пастеризационно-охладительной установке (ППОУ) представлена на рисунке 2.8.

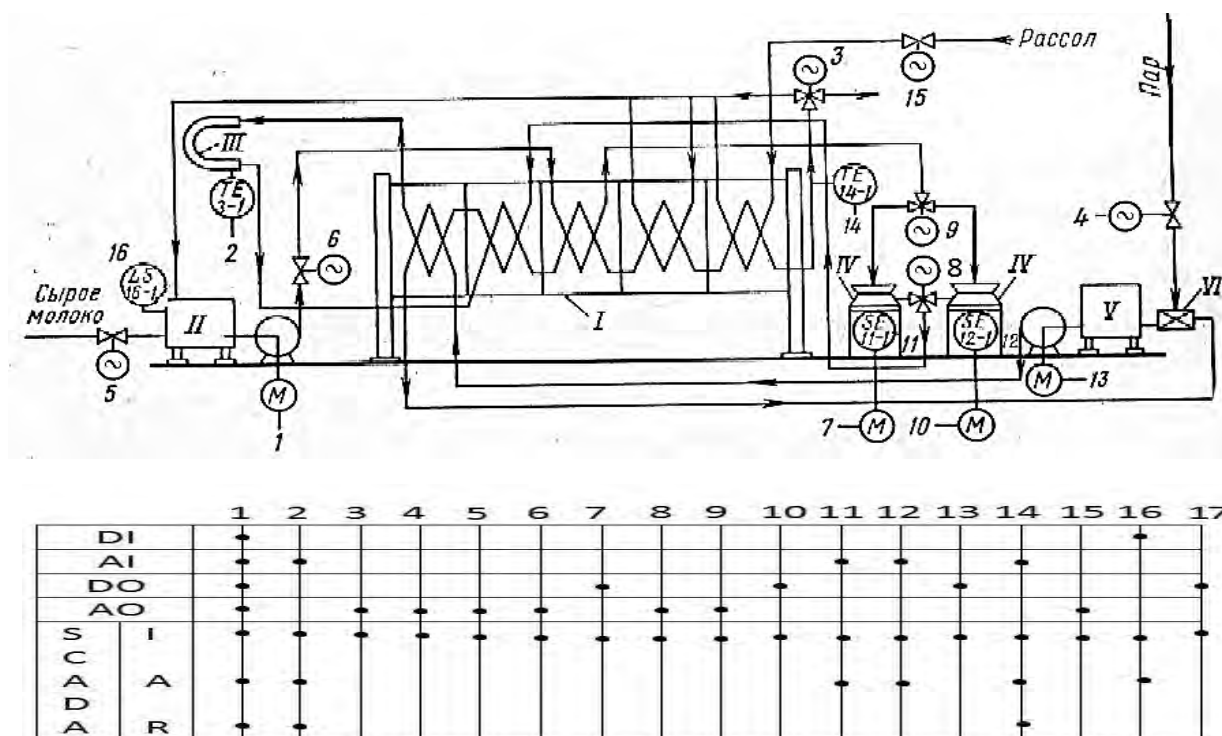


Рисунок 2.8 Функциональная схема автоматизации участков обработки, хранения и переработки молока в ППОУ

I-теплообменный аппарат, II-приёмный бак, III-выдерживатель, IV-очиститель, V-бак горячей воды, VI-эжектор

Молоко из резервуара хранения поступает в приемный бак, в котором с помощью поплавкового клапанного устройства производится его заполнение до определенного уровня. Из приемного бака молоко насосом подается в секцию регенерации, в сепаратор - молокоочиститель, где производится его предварительное нагревание. Из секции регенерации, через гомогенизатор, молоко входит в бустерный насос и выдерживатель. Далее молоко идет на охлаждение в секции регенерации и охлаждения. После охлаждения до 4-6° молоко поступает в резервуары на хранение.

Как видно из рисунка 2.8, нагрев и охлаждение молока производится за счет теплообмена в секциях установки. Температура пастеризации, температура выхода пастеризованного молока контролируется и регулируется при помощи контроллера и термометра сопротивления. Контакты блока контроллера

управляют электромагнитными распределителями, при помощи которых во время работы установки подается сжатый воздух под давлением на мембранные пневмоприводы переключающих клапанов, и управляют ими в соответствии с технологическим процессом.

Контроллер управляет подачей пара в аппарат при помощи регулирующего клапана с пневмоприводом. Управление клапанами при работе в режиме автоматического управления осуществляется с контроллера. Регулирующий клапан подачи пара полностью закрыт при подаче на него давления воздуха 20 кПа (0,2 кгс/см²) и полностью открыт при давлении воздуха 100 кПа (1 кгс/см²). О возврате молока сигнализируют лампа и сирена.

Перед началом работы установки на управляющем дисплее выбирается тип обрабатываемого продукта, в зависимости от этого устанавливаются температуры пастеризации и выхода. Охлаждение молока осуществляется подачей в секцию охлаждения ледяной воды. Для этого открывается клапан подачи ледяной воды. В установке предусмотрена циркуляция молока при понижении его уровня в приемном баке или, при прекращении подачи продукта в приемный бак. В этом случае срабатывает датчик уровня, управляющий через электромагнитный распределитель, переключающим клапаном циркуляции, установленным после секции охлаждения. О циркуляции молока сигнализирует лампа и сирена. Лампа горит при «циркуляции» молока.

Пневмораспределитель, в свободном состоянии, прекращает подачу воздуха к мембранному приводу переключающего клапана циркуляции, установленному на молокопроводе после секции охлаждения и сигнализирует, что «Установка встала на циркуляцию». Переключение потока охлажденного продукта на выходе из установки в автоматическом режиме производится кнопкой «РОЗЛИВ». Подача воды в приемный бак может осуществляться как автоматически, так и в ручном режиме.

Технологические параметры автоматически регулируются, регистрируются и контролируются с помощью современных систем электроавтоматики.

В случае нарушения заданного режима пастеризации, выход конечного продукта прекращается, и он направляется на повторную пастеризацию (в приемный бак пастеризационно-охладительной установки). Поступление исходного продукта также прекращается. С переключением клапана на возврат, срабатывает световая сигнализация на ПУ, извещающая о нарушении заданного температурного режима обработки. Переключение клапана на выдачу продукта в реализацию, может быть осуществлено только оператором после устранения причин, вызвавших аварийную ситуацию.

Электродвигатели насосов молока, горячей воды дистанционно управляются со щита управления. Также дистанционно управляются двигатели сепаратора-молокоочистителя и гомогенизатора.

При пастеризации продукта также ведется контроль разности температур теплоносителя и продукта в секции пастеризации. Если разность температур становится больше чем 10 °С, установка переключается, что связано с нарушением теплообмена при налипании продукта на стенки пластин теплообменника.

Управление процессом осуществляется посредством панели оператора. Исследование и разработка ФСА (рисунок 2.8) участков обработки, хранения и переработки молока с включением основных контролируемых параметров на этих участках позволили создать мультиагентную модель этих участков.

Схема разработанной имитационной модели участков обработки и хранения молока в ППОУ представлена на рисунке 2.9.

После модуля приёмки молоко поступает в распределительную гребёнку, которая, в свою очередь, перестраивает маршрут, и наполняет или опорожняет резервуары, находящиеся на участке обработки и хранения молока (рисунок 2.9). После наполнения одного из резервуаров на участке обработки и хранения, молоко поступает на переработку в сливкоотделитель (рисунок 2.10). На выходе из сливкоотделителя уже получаем обезжиренное молоко 0,05% жирности и сливки. Сливки идут на следующую стадию переработки, а обезжиренное молоко по распределительной гребёнке поступает в резервуары

на участке хранения молока, для последующего смешивания с молоком большей жирности и нормализации молока для достижения им определённой жирности (гомогенизатор).

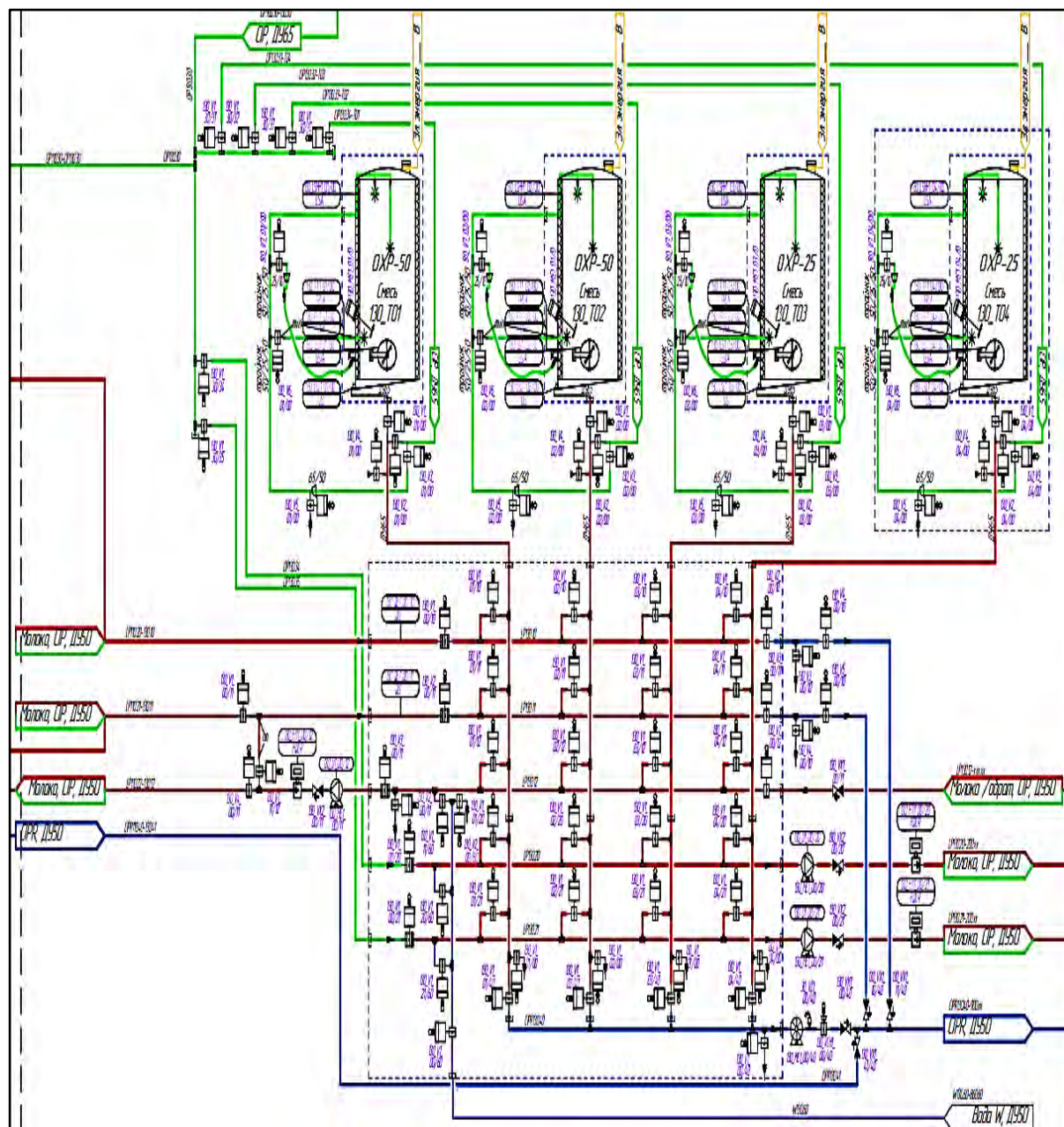


Рисунок 2.9. Схема имитационной модели участков обработки и хранения молока при производстве кефира

Анализ описанной функциональной схемы исследуемого участка переработки молока, дал возможность ее реализации в среде имитационного моделирования AnyLogic, на основе мультиагентного подхода. Для разработки модели были воспроизведены все этапы производственного процесса, рассмотренные выше.

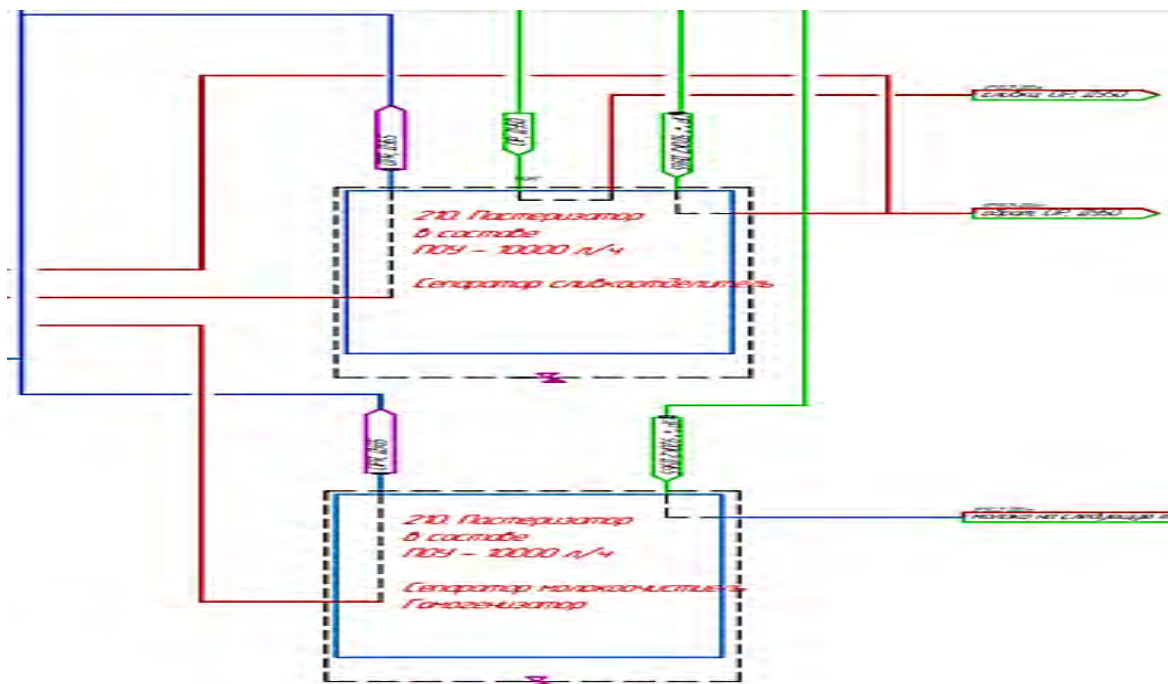


Рисунок 2.10 Функциональная схема участка переработки молока

Для моделирования выделены следующие модули производства: линия наполнения, модуль хранения молока, резервуар для хранения молока, линия опорожнения, сливкоотделитель. Схема мультиагентной модели линии наполнения, её визуальное представление и диаграмма состояний представлены на рисунке 2.11. Для каждого модуля в соответствии с методологией мультиагентного моделирования создан отдельный агент, который является отдельной частью общей имитационной модели.

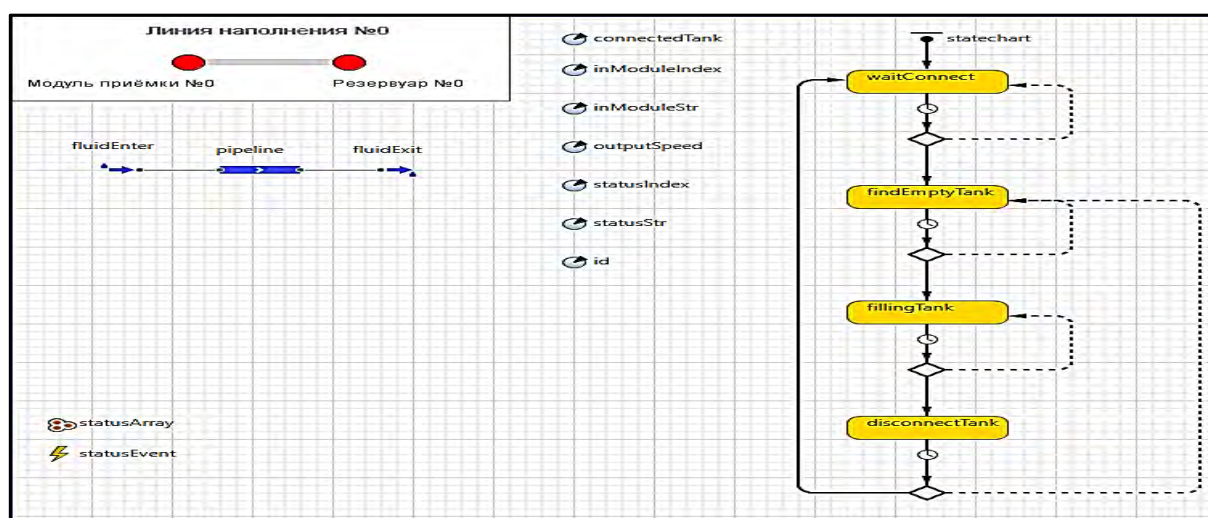


Рисунок 2.11 Схема мультиагентной модели линии наполнения, её визуальное представление и диаграмма состояний

Агент FillingLine (линия наполнения) служит для нахождения резервуара наполнения. Агент состоит из трёх объектов: fluidEnter, pipeline, fluidExit, которые представлены имитационными объектами, диаграммой состояний и визуальным представлением. У агента FillingLine присутствуют 7 параметров: id (идентификатор), connectedTank (ссылка на резервуар, к которому подключена линия наполнения), inModuleStr (название модуля к которому подключена линия наполнения), inModuleId (идентификатор модуля, к которому подключена линия наполнения), outputSpeed (производительность насоса), statusIndex (идентификатор состояния), statusStr (строковое представление состояния). Принцип работы данного агента состоит в том, что линия наполнения ожидает подключения из вне. Далее, в зависимости от того какой модуль к ней подключен, она находит резервуар участка хранения молока, который возможно наполнить. Подключается к нему и производит наполнение до заданного уровня.

Агент MilkTank имитирует работу резервуара участка хранения молока. На рисунке 2.12 представлена схема модели резервуара, её визуальное представление и диаграмма состояний.

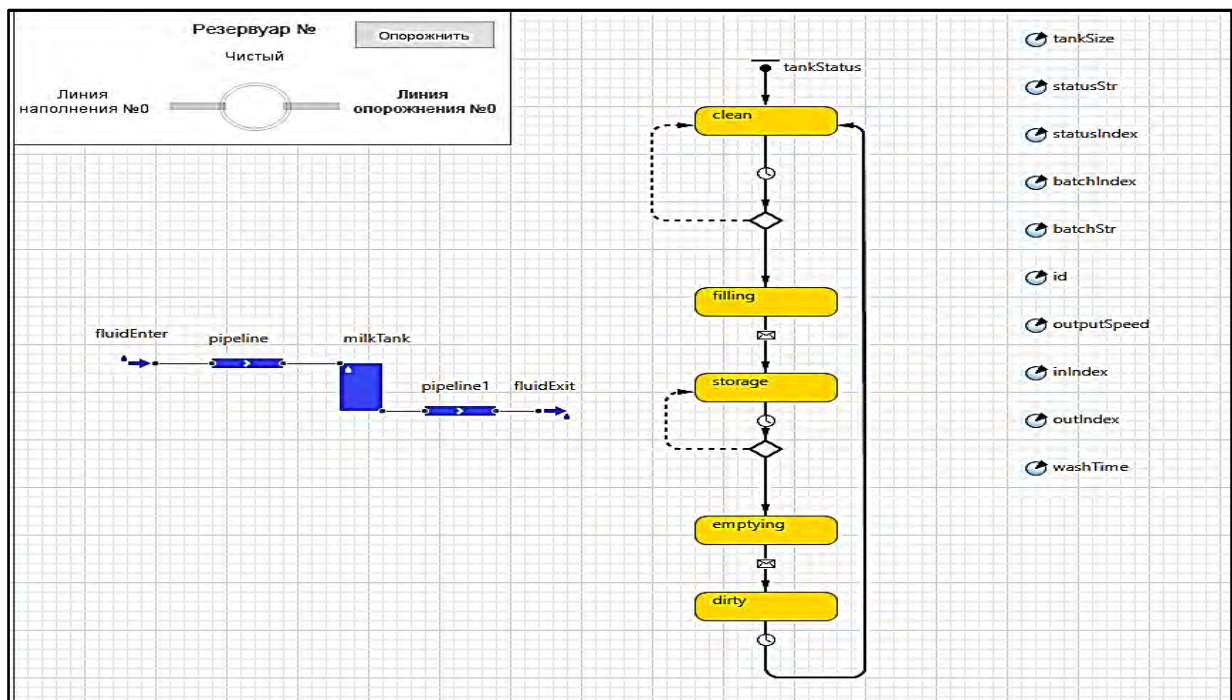


Рисунок 2.12 Схема модели резервуара, её визуальное представление и диаграмма состояний

Модель представлена 5 элементами: fluidEnter, milkTank (резервуар), fluidExit и два элемента pipeline. Агент представлен имитационными объектами, диаграммой состояний и визуальным представлением. У агента присутствуют 10 параметров: id (идентификатор), statusIndex (идентификатор состояния), statusStr (строковое представление состояния), batchIndex (индекс партии молока), batchStr (строковое представление партии молока), outputSpeed (производительность насоса), inIndex (идентификатор линии наполнения), outIndex (идентификатор линии опорожнения), washTime (время, необходимое для мойки резервуара), tankSize (объём резервуара). Диаграмма состояний управляет состояниями резервуара, их у резервуара 5: чистый, наполнения, хранения, опорожнение, грязный/мойка. Так же у визуального представления реализована кнопка «Опорожнить», для того чтобы перевести резервуар в состояние «Хранение» в случае, если бак наполнился не до конца и его стоит опорожнить.

Агент TankManager реализует управление резервуарами и схема его мультиагентной модели представлена на рисунке 2.13.

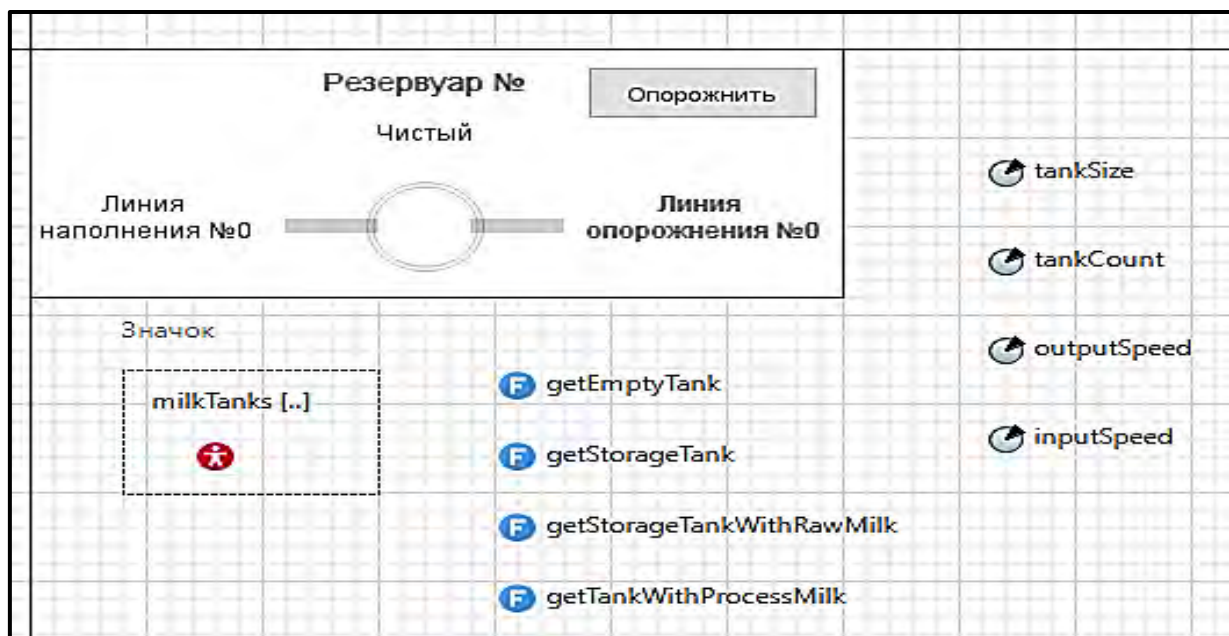


Рисунок 2.13. Схема модели TankManager (управление резервуарами), её параметры и функции

Агент TankManager хранит в себе коллекцию резервуаров и имеет некоторые функции:

- `getEmptyTank()` – возвращает идентификатор пустого танка. Если такого нет, возвращается к исходному состоянию -1.
- `getStorageTank()` – возвращает идентификатор танка, который находится в состоянии «Хранение». Если такого нет, возвращает -1.
- `getStorageTankWithRawMilk()` – возвращает идентификатор резервуара, который находится в состоянии «Хранение» и заполнен сырым молоком. Если такого нет, возвращает -1.
- `getTankWithProcessMilk()` – возвращает идентификатор резервуара, который находится в состоянии «Хранение» и заполнен обратом. Если такого нет, возвращает -1.

Если такого нет, возвращает -1.

Также данный объект содержит 4 параметра: `tankSize` (объём одного резервуара), `tankCount` (количество резервуаров), `outputSpeed` (производительность насоса на опорожнение), `inputSpeed` (производительность насоса на опорожнение). Схема мультиагентной модели агента EmptyingLine (линии опорожнения), её визуальное представление и диаграмма состояний представлена на рисунке 2.14.

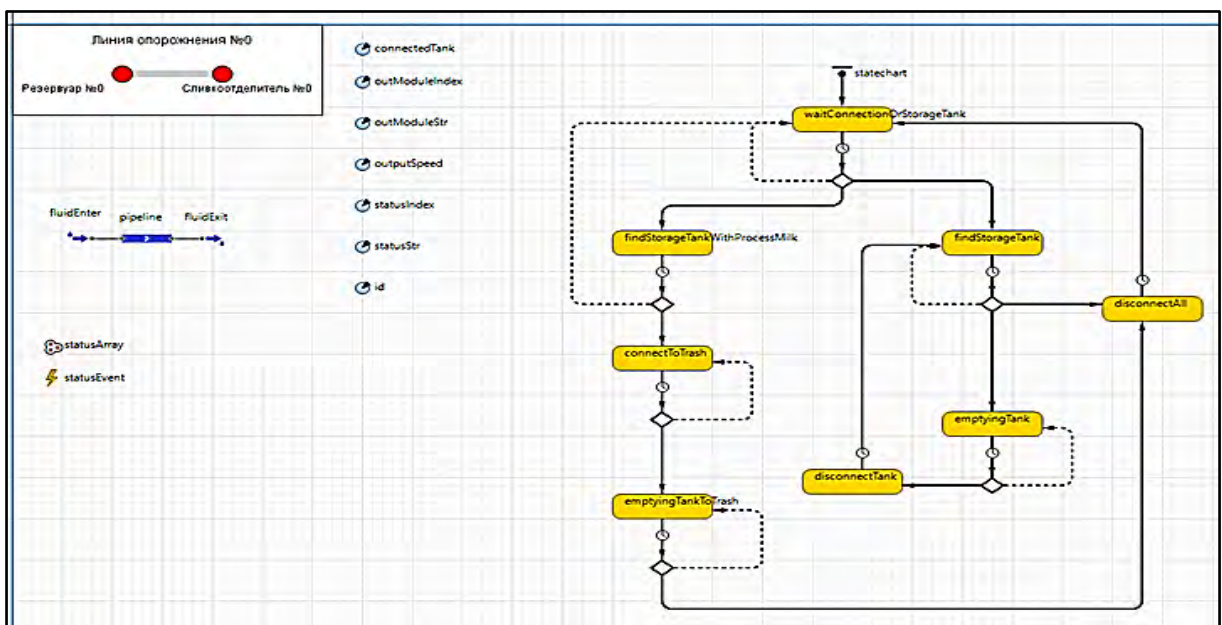


Рисунок 2.14 Схема мультиагентной модели линии опорожнения, её визуальное представление и диаграмма состояний

Агент EmptyingLine (линия опорожнения) служит для нахождения резервуара, который необходимо опорожнить. Состоит из трёх объектов: fluidEnter, pipeline, fluidExit и представлен имитационными объектами, диаграммой состояний и визуальным представлением (рисунок 2.14). У агента присутствуют 7 параметров: id (идентификатор), connectedTank (ссылка на резервуар, к которому подключена линия опорожнения), outModuleStr (название модуля, к которому подключена линия опорожнения), outModuleId (идентификатор модуля, к которому подключена линия опорожнения), outputSpeed (производительность насоса), statusIndex (идентификатор состояния), statusStr (строковое представление состояния). Принцип работы данного агента состоит в том, что линия опорожнения ожидает подключения из вне. Далее, в зависимости от того какой модуль к ней подключен, он подключается к свободной линии наполнения. Если это сливкоотделитель, то резервуар наполняется обратом. Если нет подключения и есть резервуар, наполненный обратом, то линия опорожнения подключается к данному резервуару и опорожняет его для дальнейшего использования в производстве кефира или других кисломолочных напитков.

Агент CreamSeparator имитирует работу сливкоотделителя (рисунок 2.15).

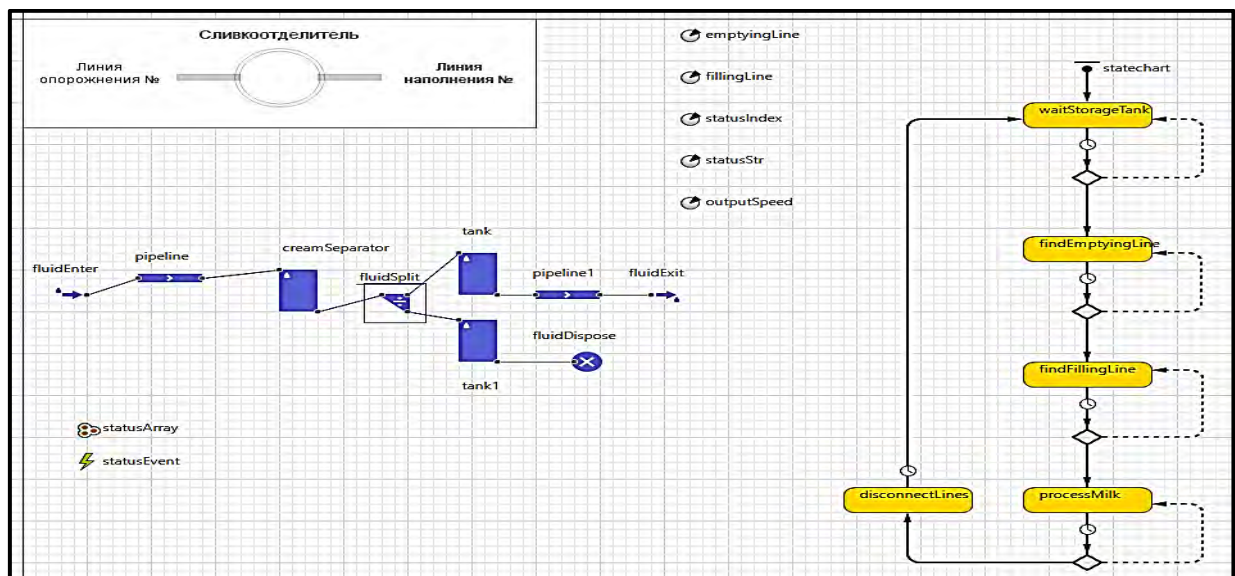


Рисунок 2.15 Схема мультиагентной модели сливкоотделителя, её визуальное представление и диаграмма состояний

Модель представлена 9 элементами: fluidEnter, creamSeparator (резервуар), fluidExit, два элемента pipeline, два элемента Tank и Tank 1, а также fluidSplit и fluidDispose.

FluidSplit служит для разделения входящего потока на пропорции. В данном случае при сепарировании из 10 000 литров молока, получается 9100 литров обрат и 900 литров сливок. Следовательно, первая доля равняется 91%, вторая 9%. Агент представлен имитационными объектами, диаграммой состояний и визуальным представлением.

У агента CreamSeparator присутствуют 5 параметров: emptyingLine (ссылка на линию опорожнения, к которой подключен сливкоотделитель), fillingLine (ссылка на линию наполнения, к которой подключен сливкоотделитель), statusIndex (идентификатор состояния), statusStr (строковое представление состояния), outputSpeed (производительность насоса). Принцип работы данного агента начинается с того, что он ожидает, пока появится резервуар, наполненный сырым молоком. После того, как такой резервуар появится, агент начнёт ожидать свободную линию опорожнения, для того чтобы подключиться к данному резервуару. После того как линия опорожнения будет подключена, агент начнёт ожидать свободную линию наполнения, чтобы наполнить свободный резервуар обратом. После проделанных шагов, сливкоотделитель начинает перерабатывать молоко на сливки и обрат. После завершения этой работы, сливкоотделитель отключается от всех линий, чтобы не занимать их.

Место, где все ранее перечисленные агенты инициализируются и соединяются в общую имитационную модель, это агент Main. Схема мультиагентной модели данного агента, её визуальное представление и диаграмма состояний представлены на рисунке 2.16.

Все агенты размещены в коллекциях:

- tankSizeInReceivingStation – размер бака в модуле приёмки;
- outputSpeedInFillingLine – производительность насоса линии наполнения;

- tankCount – количество резервуаров участка хранения молока;
- tankSize – объём одного резервуара участка хранения молока;
- outputSpeedInTank – производительность насосов при опорожнении резервуара;
- inputSpeedInTank – производительность насосов при наполнении резервуара;
- outputSpeedInEmptyingLine – производительность насоса на линии опорожнения;

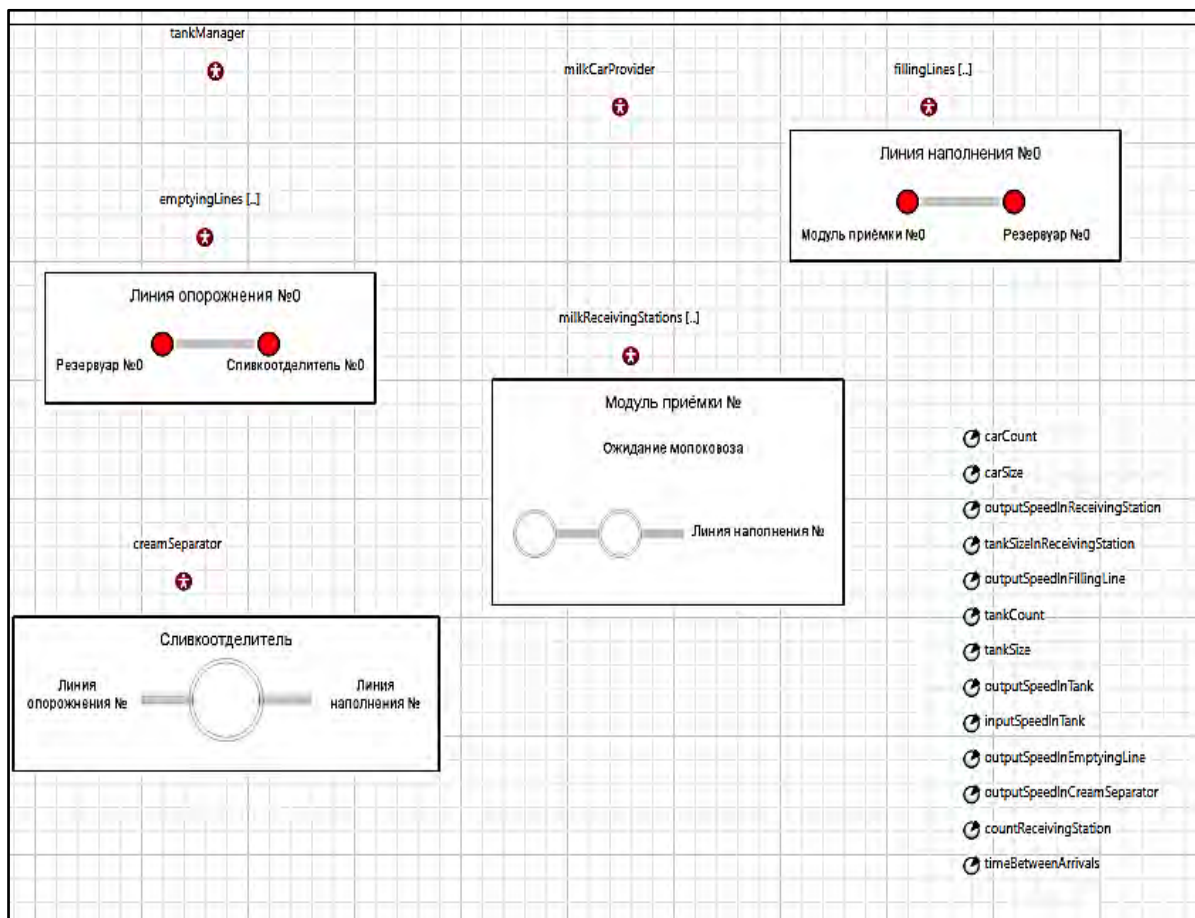


Рисунок 2.16. Схема модели Main, её визуальное представление и диаграмма состояний

- outputSpeedInCreamSeparator – производительность сливкоотделителя;
- countReceivingStation – количество модулей приёмки;
- timeBetweenArrivals – время между прибытиями молоковозов.

Данные параметры распределяются по агентам, которым необходимы данные значения. При запуске модели в Main выполняется код распределения всех элементов на экране (рисунок 2.17).

Действия агента

При запуске

```

for(int i = 0; i < milkReceivingStations.size(); i++){
    milkReceivingStations.get(i).id = i;
    milkReceivingStations.get(i).setXY(25, 350 + (milkReceivingStations.get(i).rectangle.getHeight() * i));
}

for(int i = 0; i < fillingLines.size(); i++){
    fillingLines.get(i).id = i;
    fillingLines.get(i).setXY(milkReceivingStations.get(0).rectangle.getWidth() + 75, 350 + (fillingLines.get(i).rectangle.getHeight() * i));
}

for(int i = 0; i < tankManager.milkTanks.size(); i++){
    tankManager.milkTanks.get(i).id = i;
    tankManager.milkTanks.get(i).setXY(25 + (tankManager.milkTanks.get(i).rectangle.getWidth()*i), 175);
}

for(int i = 0; i < emptyingLines.size(); i++){
    emptyingLines.get(i).id = i;
    emptyingLines.get(i).setXY(fillingLines.get(0).rectangle.getWidth() + fillingLines.get(0).getX() + 50, 350 + (emptyingLines.get(i).rectangle.getHeight() * i));
}

creamSeparator.setXY(emptyingLines.get(0).getX() + emptyingLines.get(0).rectangle.getWidth() + 50, 350);

rectangle.setWidth(tankManager.milkTanks.get(0).rectangle.getWidth() * tankManager.milkTanks.size());
rectangle.setX(tankManager.milkTanks.get(0).getX());
rectangle.setY(tankManager.milkTanks.get(0).getY() - rectangle.getHeight());

storageText.setX(((tankManager.milkTanks.get(0).rectangle.getWidth() * tankManager.milkTanks.size()) / 2) + rectangle.getX());
storageText.setY(rectangle.getHeight() / 4 + rectangle.getY());

```

Рисунок 2.17 Код распределения агентов в Main при запуске модели

Пример схемы работы всей модели подготовки сырья к производству кефира представлен на рисунке 2.18.

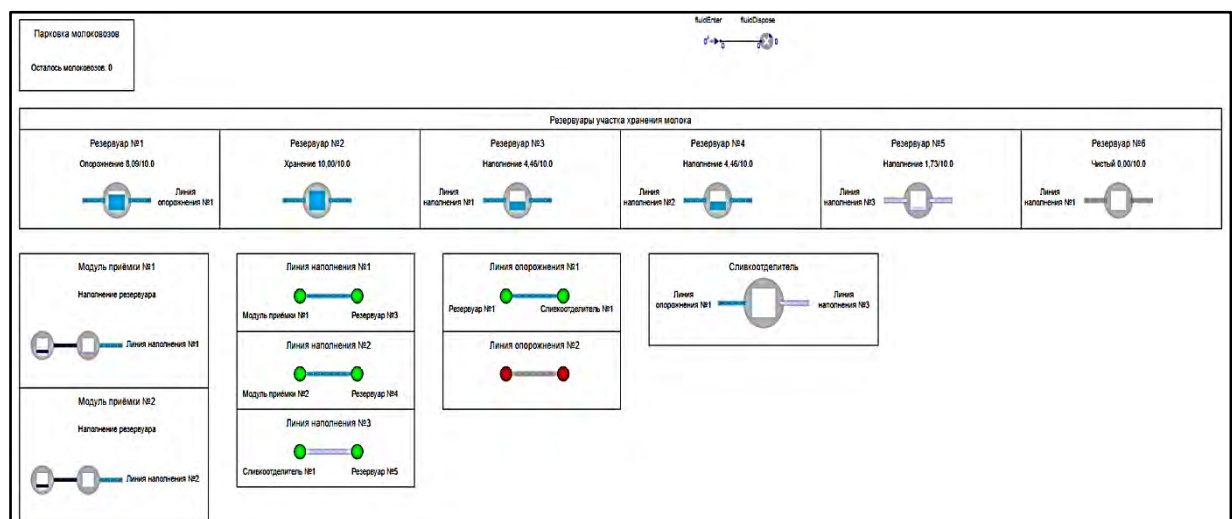


Рисунок 2.18. Пример схемы работы всей модели подготовки сырья к производству кефира

Для задания параметров используется объект Simulation. В данном объекте при помощи элементов управления, встроенных в AnyLogic, реализована панель управления (рисунки 2.19, 2.20).

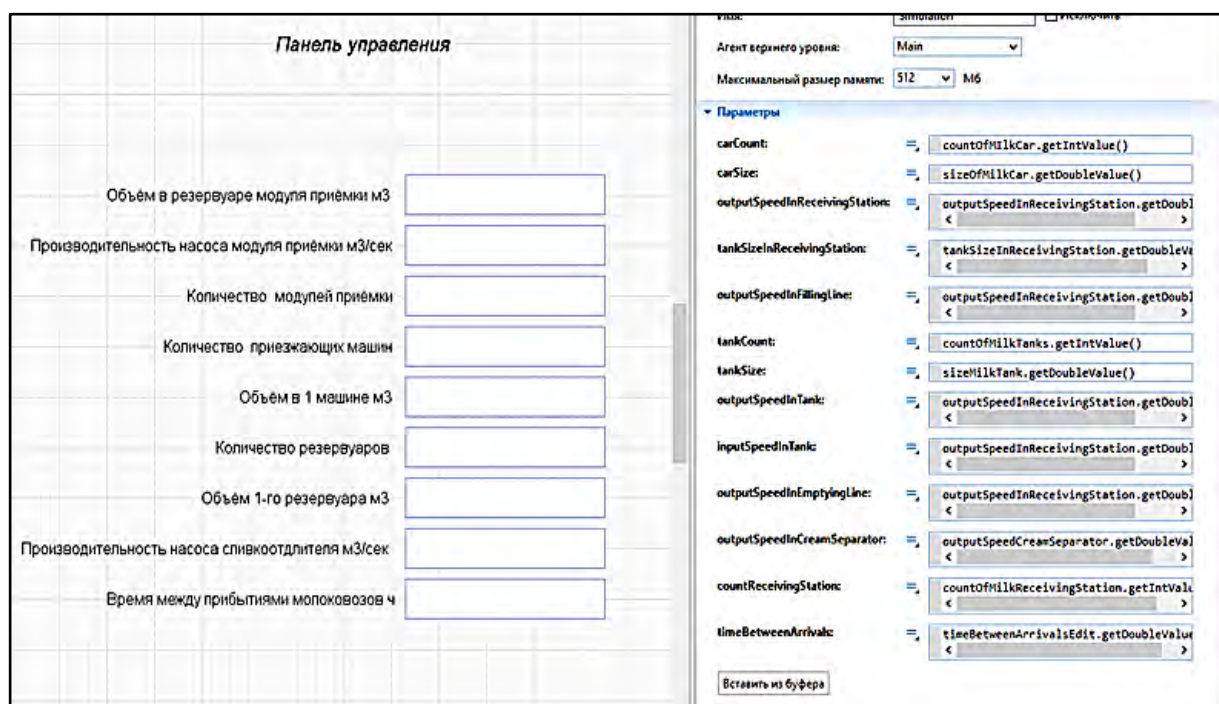


Рисунок 2.19 Панель управления в объекте Simulation и код присваивания значений

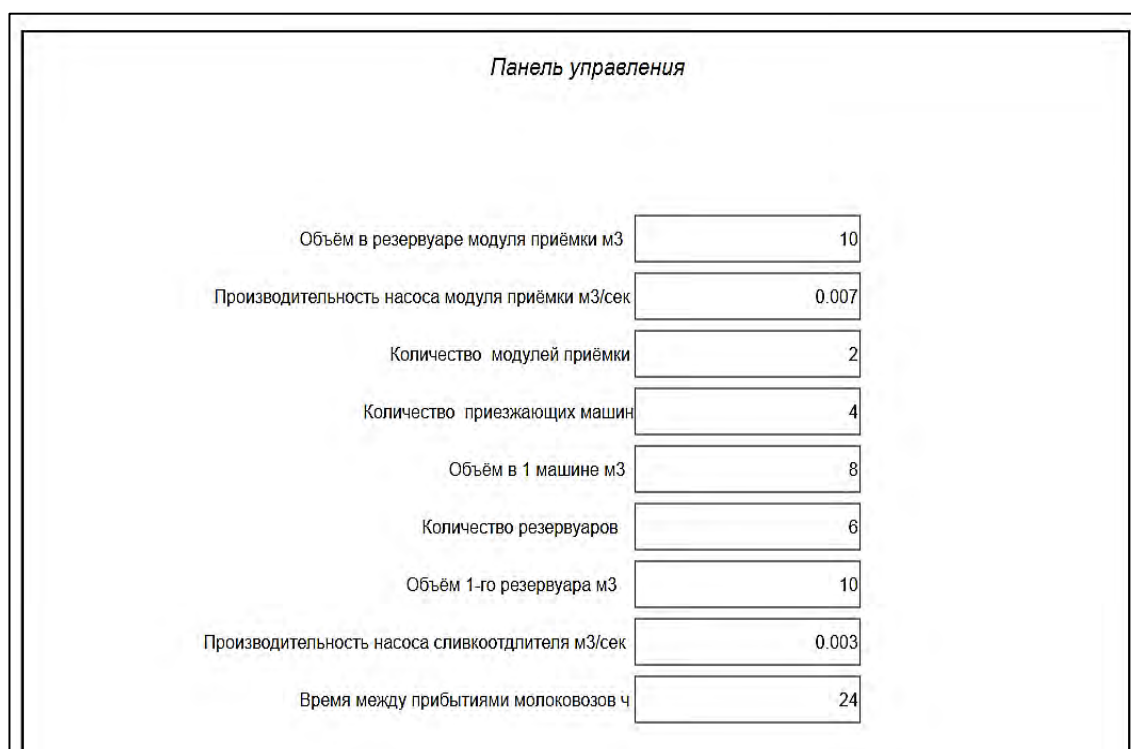


Рисунок 2.20 Панель управления при запуске Simulation

Из заполняемых текстовых полей берутся значения, целочисленные функции `getIntValue()`. Если значение с плавающей точкой, то используется `getDoubleValue()`. Далее данные значения присваиваются ранее описанным параметрам, находящимся в агенте `Main`.

2.2.3.3. Разработка мультиагентной имитационной модели аппаратно-сырьевого цеха

Так как моделируемая линия производства кефира является большой, то размещение всех элементов на одной потоковой диаграмме являлось бы не удобным, как с точки зрения разработчика, так и последующих пользователей данной имитационной модели. Поэтому в разделе 2.2.2. был создан дополнительный класс активного объекта, в котором был отображен аппаратно-сырьевой цех.

Из приведённого анализа на уровне концептуальной модели, а также при разработке UML-диаграммы, были определены основные параметры модели, которые необходимы для ее эффективного функционирования. После чего была сформирована область для отображения этих параметров, которая представлена на рисунке 2.20.

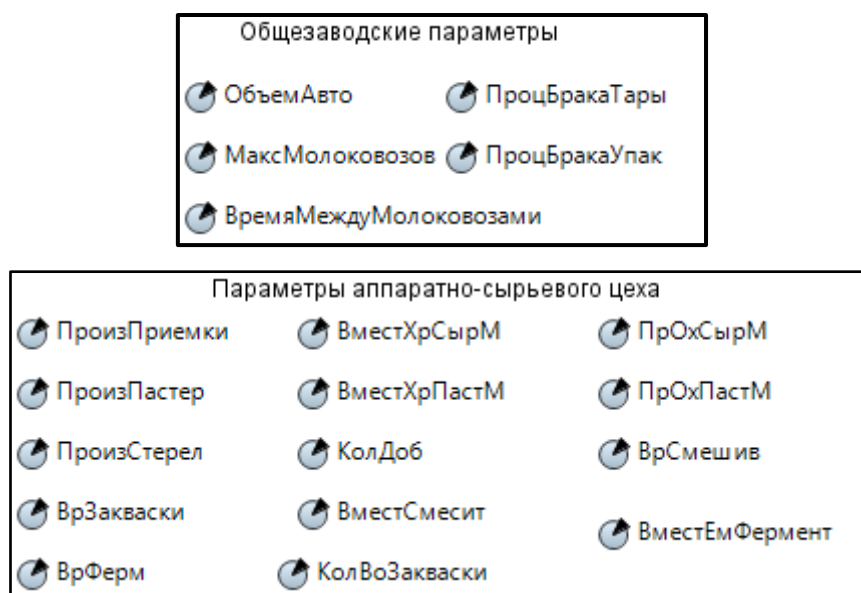


Рисунок 2.20. Параметры модели аппаратно-сырьевой цеха производства кефира

На представленном рисунке 2.20 обозначены параметры, которые были приведены к табулированному виду и представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Расшифровка параметров модели

Параметр	Тип данных	Описание
ОбъемАвто	int	Объем сырья который поставляется с каждой автоцистерной
МаксМолоковозов	int	Максимальное число автоцистерн, которое будет допущено на предприятие
ВремяМеждуМолоково- зами	double	Интервал прибытия автоцистерн
ПроцБракаТары	double	Процентный показатель брака тары
ПроцБракаУпак	double	Процентный показатель брака упаковки
ПроизПриемки	double	Производительность технического модуля приемки сырого молока
ПроизПастер	double	Производительность пастеризатора
ПроизСтерел	double	Производительность стерилизатора
ВрЗакваски	double	Время требующееся для приготовления закваски
ВрФерм	double	Время необходимое для ферментации продукции
ВместХрСырМ	double	Вместимость хранилища сырого молока
ВместХрПастМ	double	Вместимость хранилища пастеризованного молока
ВместСмесит	int	Вместимость емкость смесителя
ПрОхСырМ	double	Производительность охладителя сырого молока
ПрОхПастМ	double	Производительность охладителя пастеризованного молока
ВрСмешив	double	Время требуемое смесителю, для замешивания одной емкости
ВместЕмФермент	int	Вместимость емкость под ферментацию
КолВоЗакваски	int	Количество заквасочных культур необходимое для одной емкости ферментации
КолВКоробке	int	Количество упаковок в коробке
ВрДоСклада	double	Время транспортировки паллета до склада

ПрПодТары	double	Производительность формирования тары для упаковок
ВесФасовки	int	Объем упаковки для продукции (1000 грамм)
КолКорВПаллете	int	Количество коробок размещаемых на одном паллете
ПрФасовки	double	Производительность модуля фасовки
КолвоТары	int	Количество упаковок необходимое на 1 литр продукции
КолвоШтаблеров	int	Количество штаблеров, задействованных на складе

2.2.4. Разработка мультиагентной имитационной модели производства кефира

Следующим этапом было необходимо отобразить не только подъезжающие автоцистерны с молоком, аппаратно- сырьевой цех, но и другие важные этапы производства кефира, позволяющие установить взаимосвязи разных цехов и потоков сырья при производстве этого напитка. Разработанная для этого диаграмма представлена на рисунке 2.21.

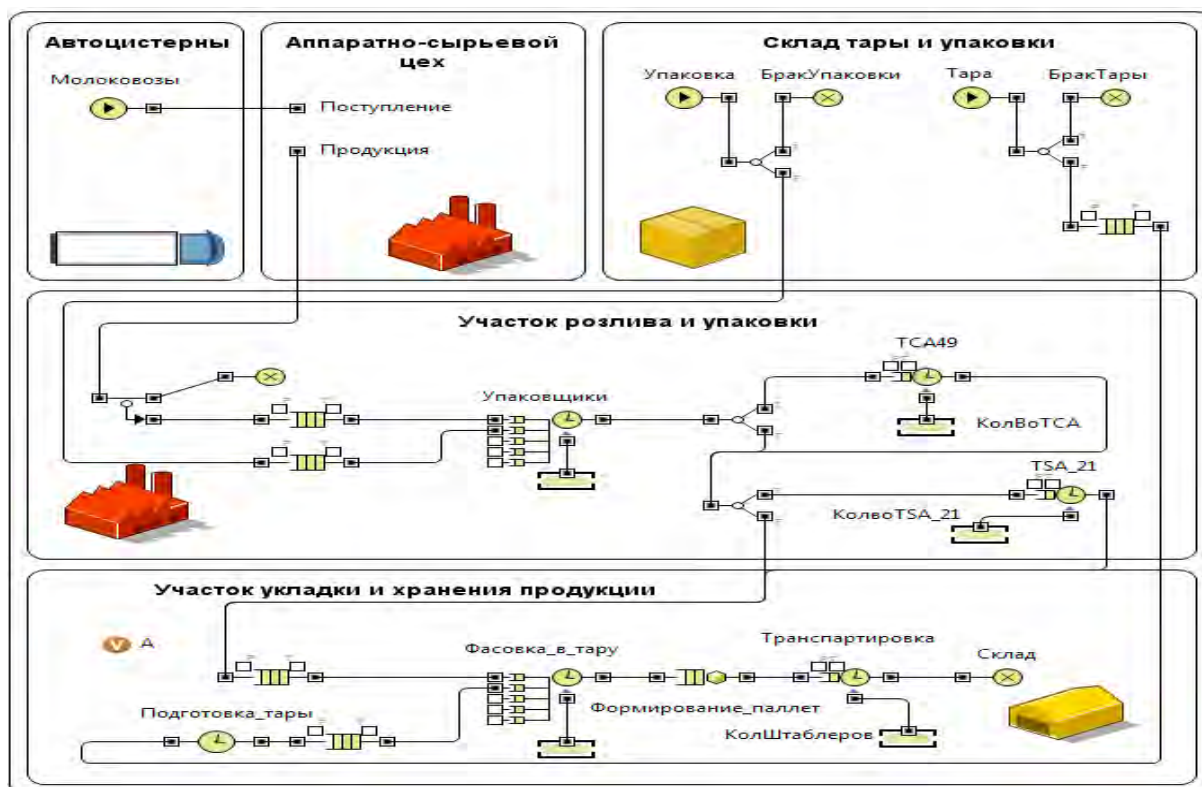


Рисунок 2.21. Потокосвязная диаграмма взаимосвязи разных цехов и потоков сырья при производстве кефира

На данной диаграмме отображен процесс поступления сырья на молочный завод в виде автоцистерн, которые впоследствии подключаются к аппаратно-сырьевому цеху (АСЦ). Затем в АСЦ по выбранным параметрам производится сырье, необходимое для дальнейшего производства кефира. После того, как сырое молоко прошло все стадии в АСЦ, из него поступает готовое сырье – молоко с определенными показателями качества, которое в дальнейшем перерабатывается в кефир, затем разливается в бутылки, фасуется и упаковывается крышками (цех розлива и упаковки). Далее готовая продукция (кефир) поступает в цех маркировки, укладки и хранения готовой продукции. Параметры маркировки, упаковки и фасовки также указываются в области «Параметры модели». Отметим, что поступление бутылок и крышек для бутылок начинается лишь с поступлением продукции. Затем расфасованную продукцию формируют в паллеты, которые поступают на склад, откуда будут транспортированы к потребителям.

Анализ взаимосвязи цехов и потоков сырья между ними, разработка моделей процесса приемки молока, моделирование участков обработки, хранения и переработки молока (п.2.2.2) позволили разработать потоковую диаграмму процесса производства кефира, представленную на рисунке 2.22.

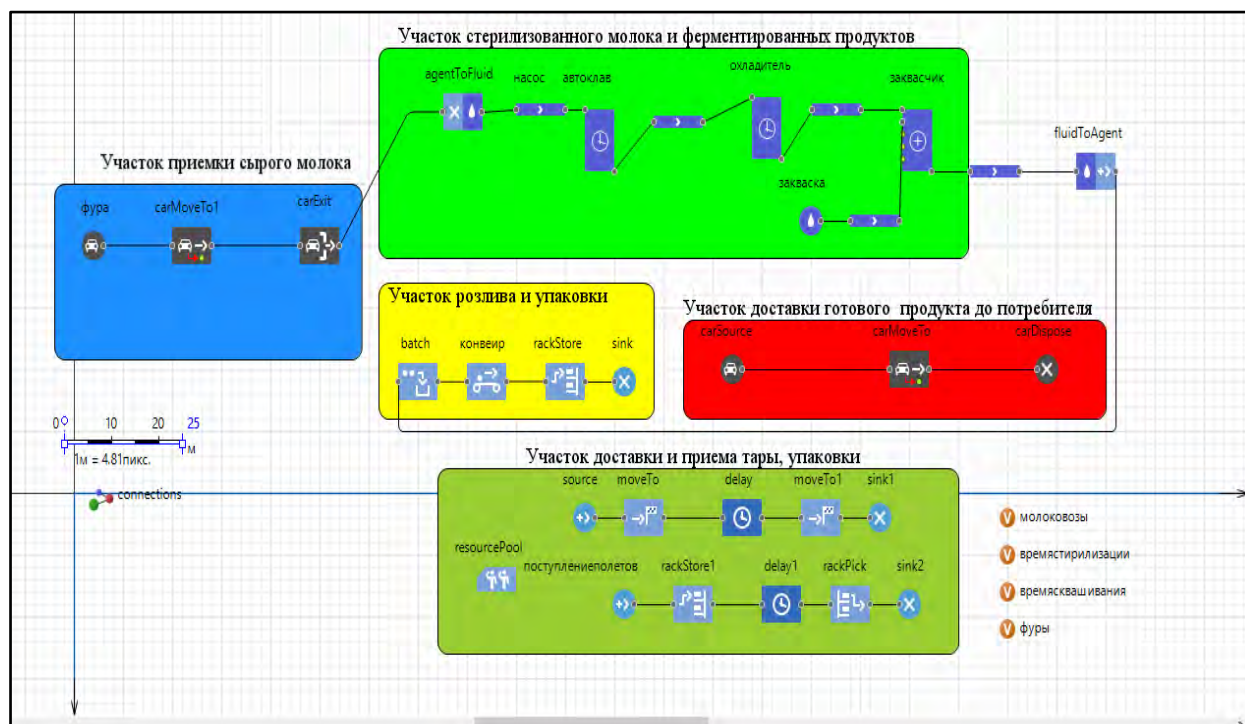


Рисунок 2.22 Потоковая диаграмма процесса производства кефира

Car Source создает автомобили и пытается поместить их в указанное место дорожной сети. Автомобиль можно поместить на указанную дорогу или парковку (это задается соответствующим параметром Поступление). Аналогично блоку Source, автомобили могут создаваться согласно заданной интенсивности, времени между прибытиями, изменяющейся во времени интенсивности, заданной с помощью расписания, задающего точное время и количество прибывающих автомобилей, или "вручную" путем вызова функции блока inject(). Количество создаваемых автомобилей можно ограничить (выбрав опцию «Ограниченное количество прибытий», и задав «Максимальное количество прибытий»).

Блок Car Move To управляет движением автомобиля. Автомобиль может ехать только, когда он находится в блоке CarMoveTo. Автомобиль пытается рассчитать путь от своего текущего места до указанного места назначения, когда поступает в блок CarMoveTo. В качестве цели движения могут выступать: дорога, парковка, автобусная остановка или стоп-линия. Указанное место назначения должно находиться в той же дорожной сети, что и автомобиль. Если от текущего местоположения автомобиля к указанному месту нет пути, автомобиль покидает блок через порт outWayNotFound.

CarDispose удаляет машины из модели. Есть два способа удаления автомобилей: автомобиль может выехать за пределы дорожной сети по незамкнутому пути или после достижения указанной стоп-линии. В этом случае блок CarDispose нужно будет поместить после последнего блока CarMoveTo. Автомобиль можно удалить из модели, когда он находится на парковке или автобусной остановке. В этом случае нет необходимости удалять автомобиль сразу после того, как он заедет на парковку или остановку. Удалять автомобили нужно именно с помощью блока CarDispose, а не блоков Sink или Exit.

ResourcePool задает набор ресурсов, которые могут захватываться и освобождаться агентами с помощью объектов Seize, Release, Assembler и Service. Ресурсы могут быть трех типов: движущийся, статический и переносной:

- Статические ресурсы привязаны к определенному местоположению (например,

узлу) внутри сети и не могут быть перемещены. Примером статического ресурса может быть рентгеновский кабинет или весы-платформа.

- Движущиеся ресурсы могут перемещаться сами по себе, они могут представлять персонал, транспорт, и т.д.
- Переносные ресурсы могут быть перемещены агентами или движущимися ресурсами. Переносное ультразвуковое устройство или кресло-каталка могут быть примерами переносных ресурсов.

Движущиеся и переносные ресурсы имеют базовое местоположение, куда они могут при необходимости вернуться или быть возвращены. Ресурсы одного типа могут иметь индивидуальные свойства, отображаться на презентации, хранить статистику своего использования и т.д. Можно также создавать свои собственные типы ресурсов. Агент использует имя типа, чтобы ссылаться на ресурсы, и может выбирать конкретный ресурс, анализируя его свойства.

RackPick извлекает агента из ячейки стеллажа или зоны хранения и перемещает его в заданный узел сети. При этом для перемещения агента могут использоваться движущиеся сетевые ресурсы. При необходимости можно добавить задержку, моделирующую время, требуемое на извлечение агента из ячейки. Время задержки может зависеть от координат ячейки. Например, от уровня положения этой ячейки.

RackStore помещает агента в ячейку заданного стеллажа или зоны хранения RackSystem. При этом агент перемещается из его текущего местоположения в сети к ячейке (при необходимости, с помощью движущихся сетевых ресурсов). При необходимости можно добавить задержку, моделирующую время, требуемое на помещение агента в ячейку. Время задержки может зависеть от координат ячейки, например, от уровня этой ячейки.

MoveTo перемещает агента в новое место. Если к агенту присоединены какие-то ресурсы, то они перемещаются вместе с агентом. При этом независимо от скорости перемещения ресурсов такая группа из агента и его ресурсов будет перемещаться со скоростью агента. Время, которое агент проведет в этом объекте, будет равно длине кратчайшего из возможных путей, начиная от текущего местоположения агента в место назначения. Агент будет отображаться на анимации движущимся по

выбранному пути или маршруту.

Агент lengthConveyor реализует функции регулирования длины конвейера и его скорости. В зависимости от длины конвейера, подбирается наиболее актуальная скорость для корректной реализации моделируемого процесса.

Потоковая-диаграмма АСЦ осуществляет имитацию работы оборудования в соответствии с представленной ранее UML-диаграммой. Также благодаря внедрению условных операторов при инициализации осуществляется корректное направление заявок, что позволяет имитировать производство различной продукции.

После разработки дискретно-событийной модели производства кефира, можно проверить работоспособность данной модели. На рисунке 2.23 представлена схема имитационной модели процесса производства кефира 2D вида.

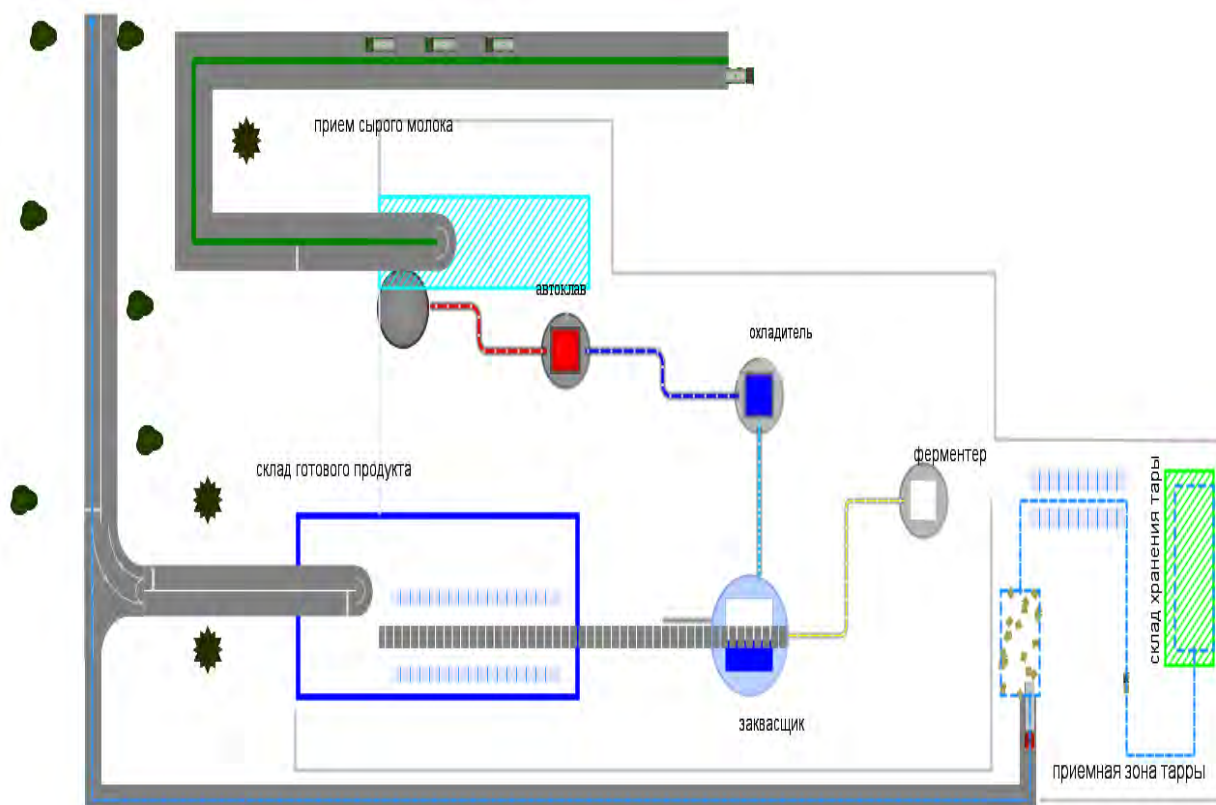


Рисунок 2.23 Схема имитационной модели процесса производства кефира 2D вида

На рисунке 2.24 представлена схема имитационной модели процесса производства кефира 3D вида

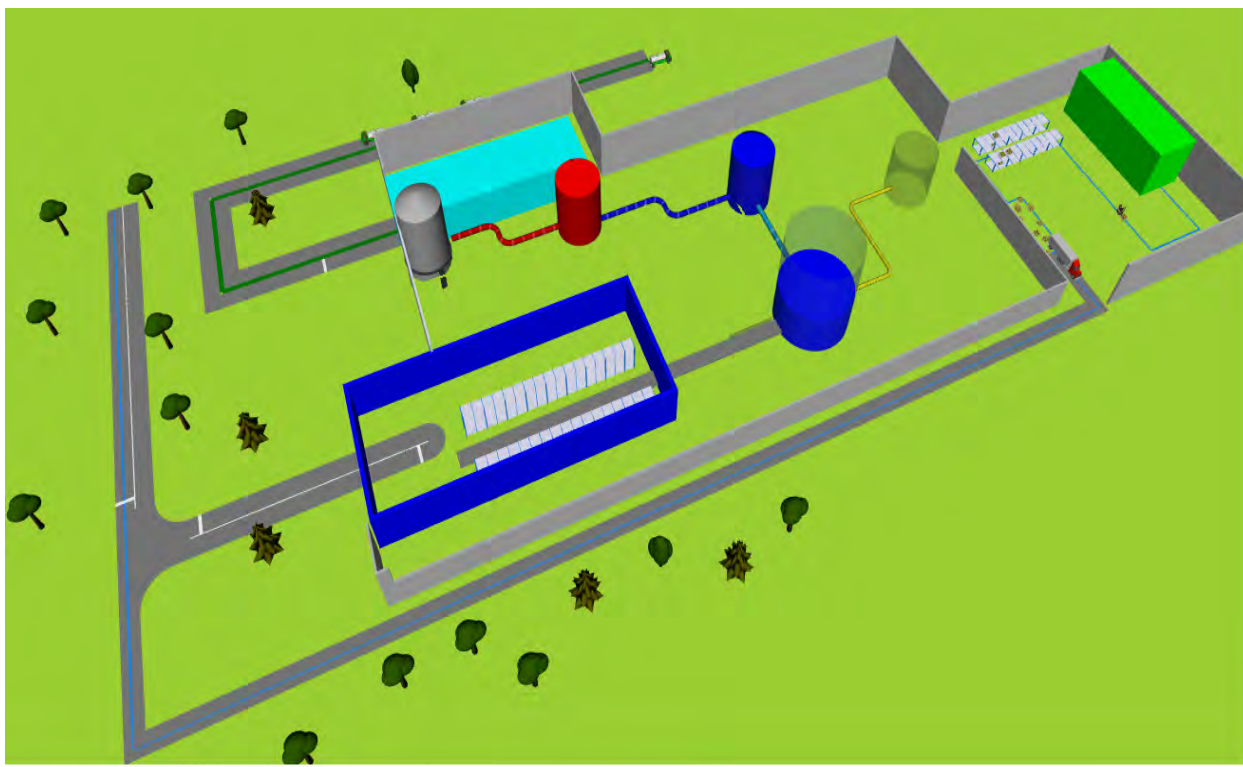


Рисунок 2.24 Схема имитационной модели процесса производства кефира 3D вида

Вся модель разделена на несколько этапов. Каждый этап – это отдельный агент, отвечающий за конкретный промежуток производства и имеющий как индивидуальные характеристики и функции, так и общие со всей системой в целом.

На рисунке 2.25 представлены все агенты имитационной модели производства кефира.

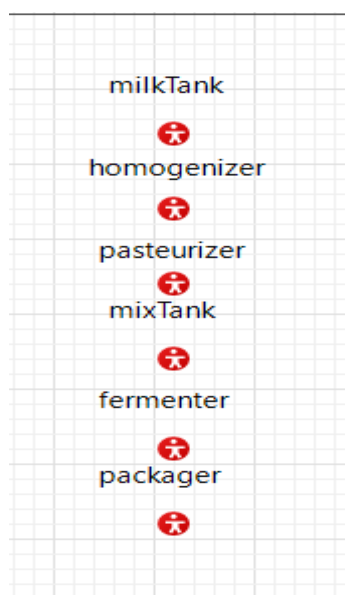


Рисунок 2.25 Агенты модели

Всего в модели семь основных агентов, представленные на рисунке 2.25. Это: main – главный агент, который является контейнером для всех остальных агентов; milkTank – агент, имитирующий поведение молочного танка; homogenizer – агент, имитирующий работу гомогенизатора; pasteurizer – агент-пастеризатор; mixTank – агент, имитирующий оборудование для сквашивания кефира и его созревание; fermenter – агент, имитирующий заквасочник, packager – агент-упаковщик.

2.2.4.1. Мультиагентная модель, имитирующая поведение молочного танка MilkTank

На рисунке 2.26 представлена схема мультиагентной модели, имитирующая поведение молочного танка MilkTank.

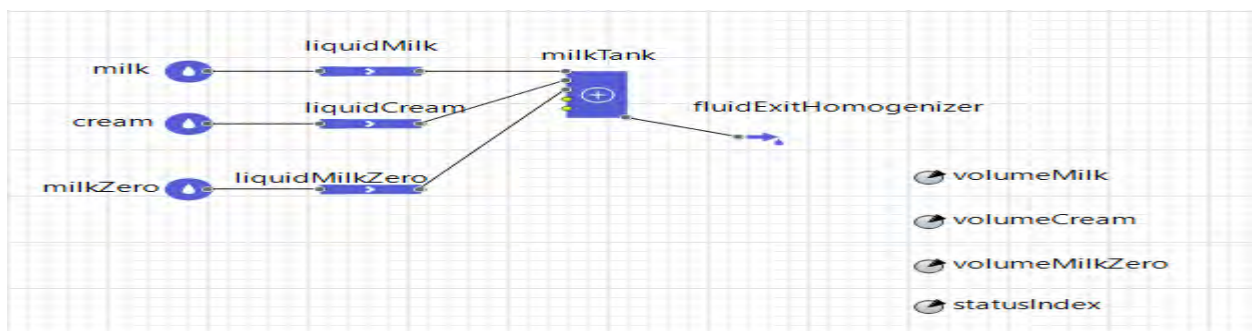


Рисунок 2.26 Схема мультиагентной модели, имитирующая поведение молочного танка MilkTank.

В агенте MilkTank присутствуют три потока: milk, cream, milkZero, которые создают начальный поток сырья – молока, а также нормализирующие потоки сливок и обезжиренного молока. Потоки направлены к танку по трубам: liquidMilk, liquidCream, liquidMilkZero. Агент MilkTank моделирует трубу, по которой жидкость транспортируется из одной точки в другую. Имеет ограниченный объем и опцию, которая позволяет содержать некоторое начальное количество жидкости на входе. Вся жидкость в трубе движется с одинаковой скоростью, поэтому, когда труба заполнена, скорость входного потока всегда равна скорости выходного потока. Пока труба еще не наполнена, скорость ее входного потока ограничена лишь собственной скоростью трубы.

milkTank – резервуар для жидкости. Когда резервуар не заполнен полностью, то его содержимое всегда находится внизу и наполняется сверху. VolumeMilk, volumeCream, volumeMilkZero, statusIndex – параметры, которые обычно используются для создания основных характеристик модели и хранят постоянное значение в течение всего "прогона" модели. Изменение параметра происходит только в определенных условиях. volumeMilk, volumeCream, volumeMilkZero – параметры объема входящего потока. statusIndex – параметр, отвечающий за номер статуса, в котором находится milkTank, описанного в блок-схеме (рисунок 2.27).

Блок-схема состоит из статусов: empty, filling, cooling, normalization, storage, emptying, dirty, washing.

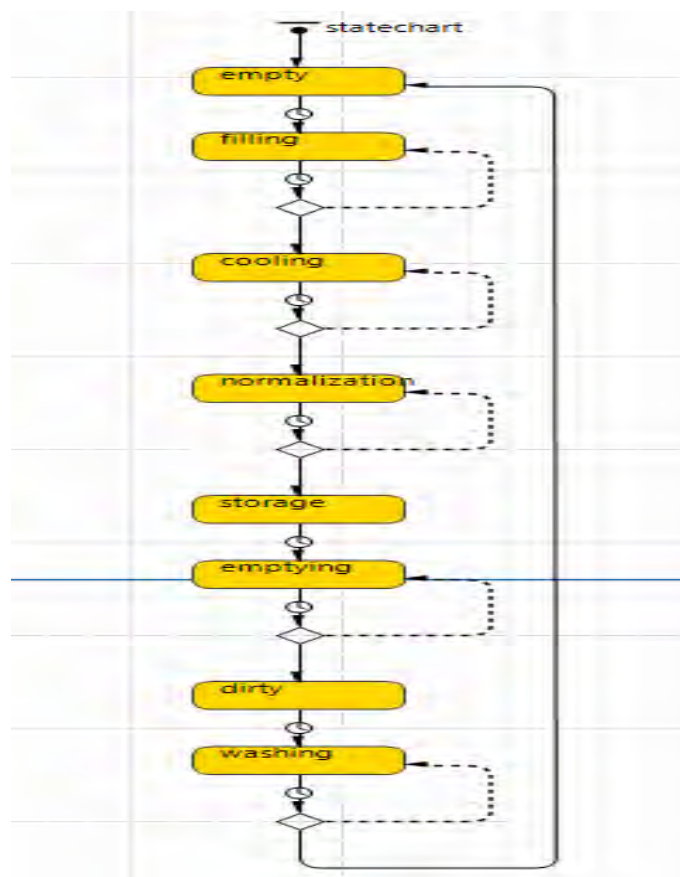


Рисунок 2.27 Блок-схема статусов MilkTank.

Танк может заполняться, если он находится в статусе empty (пустой). При поступлении сырья, танк переходит в статус filling – заполнение. Этот этап проверяется, пока не будет занят необходимый рабочий объем. Затем происходит охлаждение до необходимой температуры, которое отображается как

cooling. Молоко нормализуют по % жира, добавляя сливки или обезжиренное молоко. На этом этапе танк получает статус normalization. Storage оптимизируется при хранении, emptying – опорожнение, dirty - грязный, washing – мытьё.

2.2.4.2. Мультиагентная модель, имитирующая работу гомогенизатора Homogenizer

Схема мультиагентной модели, имитирующая работу гомогенизатора Homogenizer представлена на рисунке 2.28.

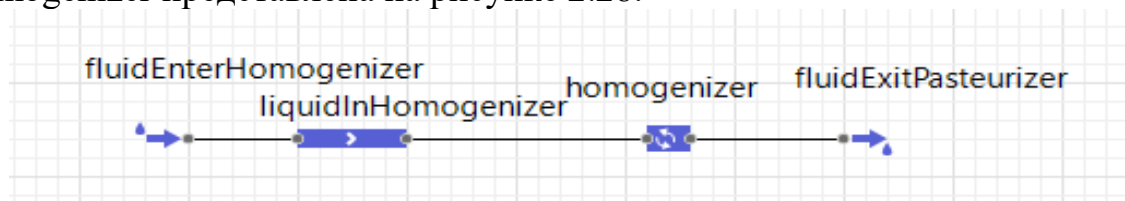


Рисунок 2.28. Схема мультиагентной модели, имитирующая работу гомогенизатора Homogenizer.

Агент Homogenizer имитирует работу гомогенизатора и включает в себя такие элементы, как pipeline (труба), liquidInHomogenizer и fluidConvert (преобразователь жидкости), homogenizer. Pipeline - труба, по которой жидкость транспортируется из одной точки в другую. Имеет ограниченный объем. Есть опция, позволяющая содержать некоторое начальное количество жидкости на входе.

С того момента как труба полностью наполнится, она остается наполненной постоянно. В трубе не допускаются зазоры. Вся жидкость в трубе движется с одинаковой скоростью, поэтому, когда труба заполнена, скорость входного потока всегда равна скорости выходного потока. Пока труба еще не наполнена, скорость ее входного потока ограничена лишь собственной скоростью трубы.

FluidConvert – преобразователь (конвертер) жидкости. Входной поток данного блока всегда равен скорости выходного потока. Данный блок является блоком с нулевой вместимостью, он не содержит вещество внутри.

Партия молока попадает в гомогенизатор по трубе с определенной скоростью и благодаря FluidConvert конвертируется в партию гомогенизированного молока. Выходная партия может быть той же самой, что и входная партия, или же другой.

2.2.4.3. Мультиагентная модель, имитирующая работу агента – пастеризатора Pasteurizer

Схема мультиагентной модели, имитирующая работу агента – пастеризатора Pasteurizer представлена на рисунке 2.29.

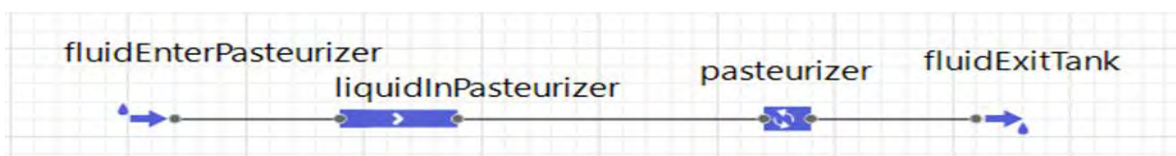


Рисунок 2.29. Схема мультиагентной модели, имитирующая работу агента – пастеризатора Pasteurizer

Агент Pasteurizer имитирует работу пастеризатора и работает по принципу агента Homogenizer. По трубе liquidInPasteurizer жидкость поступает в конвертер pasteurizer, чтобы конвертировать входную жидкость – гомогенизированное молоко в выходную жидкость – пастеризованное молоко.

2.2.4.4. Мультиагентная модель выработки закваски, имитирующая работу агента – Fermenter

Схема мультиагентной модели выработки закваски, имитирующая работу агента – Fermenter представлена на рисунке 2.30.

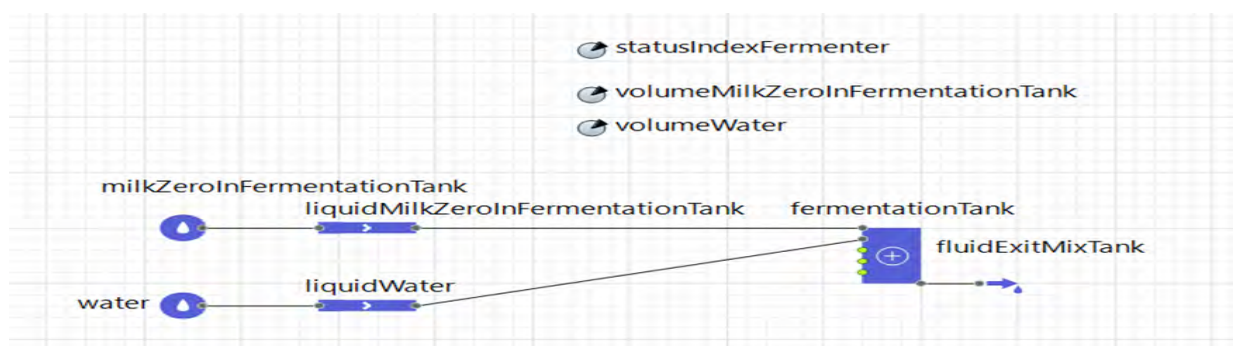


Рисунок 2.30. Схема мультиагентной модели выработки закваски, имитирующая работу агента – Fermenter

В агенте Fermenter присутствуют два начальных потока: milkZeroInFermentationTank и water. Поток направлен к танку fermentationTank по трубам: liquidMilkZeroInFermentationTank и liquidWater соответственно для каждого потока. Данный агент имитирует выработку закваски.

Агент Fermenter должен иметь соответствующие выходные параметры. Однако они будут отличаться для разных сортов кефира. Поэтому на рисунке 2.30 не указаны необходимые выходные значения. volumeMilkZeroInFermentationTank и volumeWater – параметры объема начальной жидкости. statusIndexFermenter - параметр, отвечающий за номер статуса, в котором находится fermentationTank, описанного в блок-схеме на рисунке 2.31.

Блок-схема состоит из статусов: empty, fillingWater, emptyingWater, fillingMilk, mixing, fermentation, storage, emptying, dirty, washing. Статус empty сообщает нам о готовности танка к использованию. fillingWater и emptyingWater поочередно сменяются с поступлением теплой воды. Смена статусов периодическая: примерно 2-3 раза за 10 часов, для набухания кефирных зерен. Циклично по таймеру проверяется готовность зерен и необходимость смены воды.

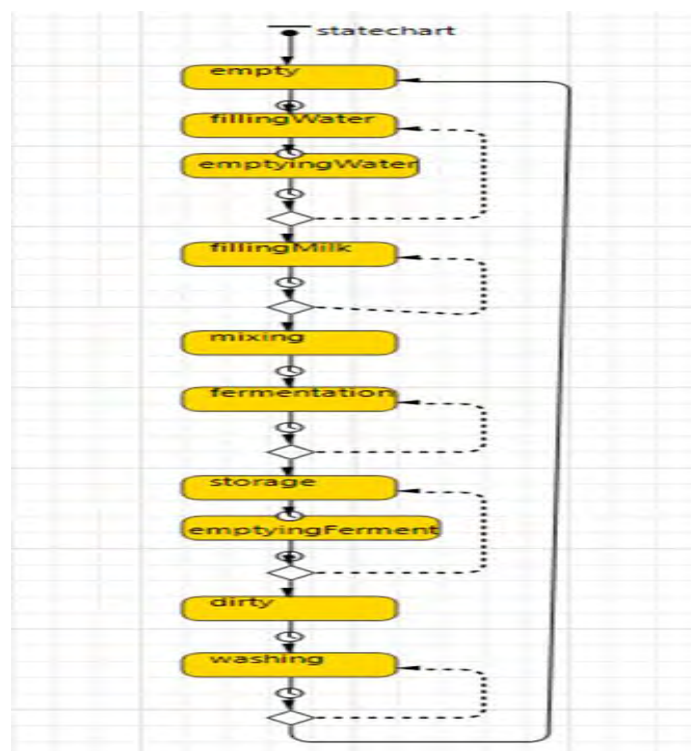


Рисунок 2.31 Блок-схема статусов fermentationTank.

При выработке закваски статус сменяется на `fillingMilk` и считается действительным, пока не заполнится весь рабочий объем. Следующим этапом будет перемешивание - `mixing`. Далее по технологическому процессу следует созревание закваски в течение долгого времени. Процесс ферментации обозначается `fermentation`. После приготовления танк переходит в статус хранения – `storage`, который поддерживается до полного опустошения. При использовании закваски `fermentationTank` переходит в статус `emptying` и обратно, если был использован не весь имеющийся объем. По опустошении, танк имеет статус `dirty` (грязный) и не используется, пока не пройдет этап отчистки, который имеет статус `washing`.

2.2.4.5. Мультиагентная модель работы агента – MixTank, имитирующая работу оборудования для сквашивания кефира и его созревания

Схема мультиагентной модели работы агента – MixTank, имитирующая работу оборудования для сквашивания кефира и его созревания представлена на рисунке 2.32.

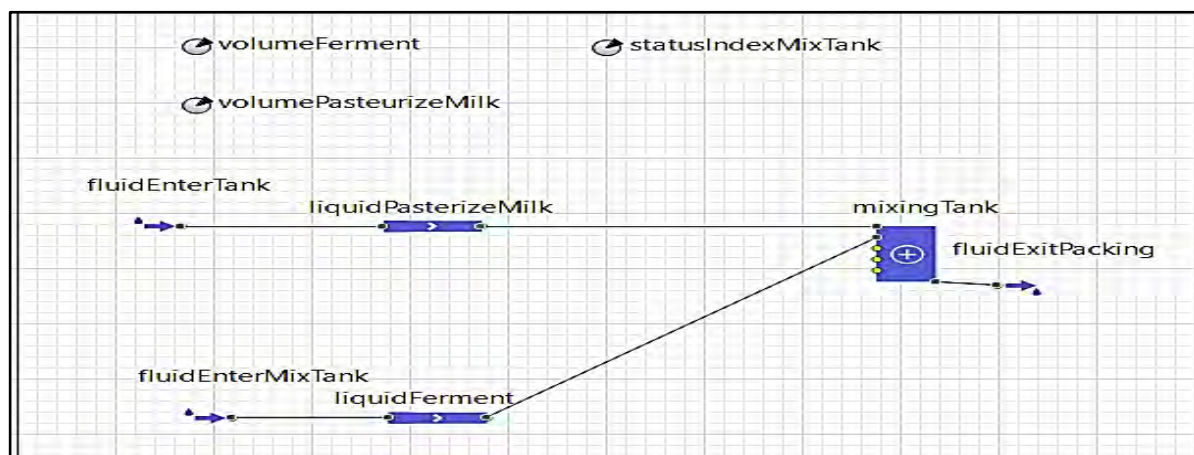


Рисунок 2.32. Схема мультиагентной модели работы агента – MixTank, имитирующая работу оборудования для сквашивания и созревания кефира

Агент MixTank имеет две трубы: `liquidPasterizeMilk` и `liquidFerment`, по которым в танк поступают полностью подготовленное для сквашивания кефира пастеризованное молоко и закваска.

MixTank – это резервуар, который вырабатывает смесь из сырья, поступающего из различных или одинаковых источников. Этот резервуар может задерживать (т.е. обрабатывать) в себе жидкость в течение заданного времени, после чего выпускает её. Пропорции веществ поддаются корректировке, благодаря возможности задать отдельно объем каждой отдельной составной жидкости. После заполнения, приготовления и процесса созревания кефира происходит опорожнение резервуара. Далее процесс обновится и начнет новый веток только после того, как предыдущая жидкость полностью покинет резервуар. Начальное состояние танка - пустой.

MixTank имитирует работу мешалки для кисломолочных продуктов. Содержит в себе параметры: volumeFerment и volumePasteurizeMilk – объем входящих потоков, и stausIndexMixTank - параметр, отвечающий за номер статуса, описанного в блок-схеме, представленного на рисунке 2.33.

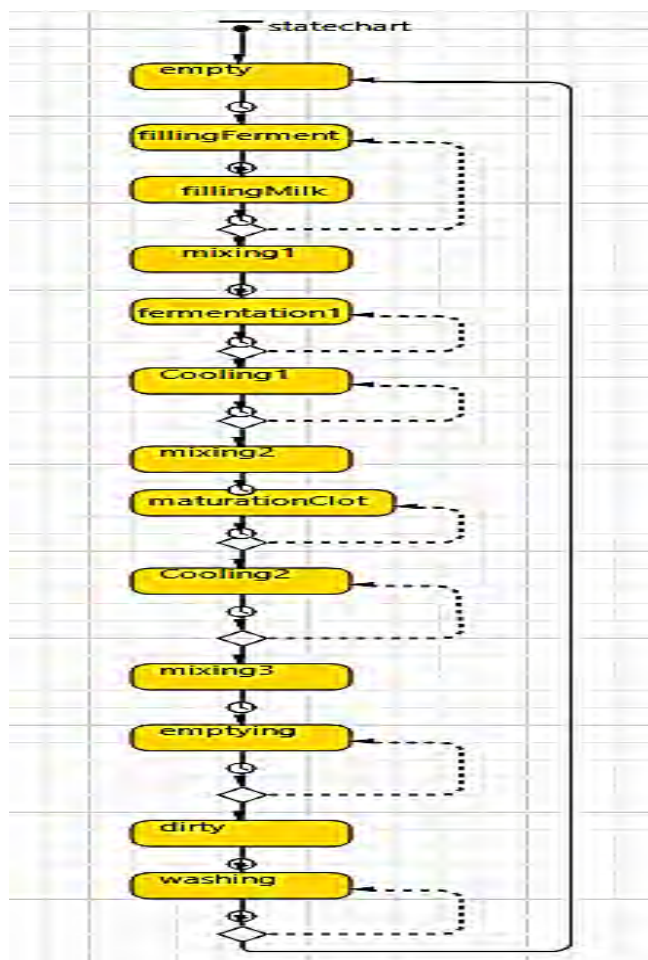


Рисунок 2.33 Блок-схема статусов MixTank

Блок-схема состоит из статусов: empty, fillingFerment, fillingMilk, mixing1, fermentation1, Cooling1, mixing2, maturationClot, Cooling2, mixing3, emptying, dirty, washing. Начальный статус танка – empty, сообщающий, что танк пустой и готов к использованию. Сменяется на fillingFerment и fillingMilk при пропорциональном заполнении. Следующий этап, перемешивание двух поступивших жидкостей, обозначается как mixing1 и длится определенное время. Далее жидкости дают настояться - fermentation1, по готовности охлаждают - Cooling1 и снова перемешивают - mixing2. По технологическому процессу смесь оставляют в состоянии покоя до созревания конечного продукта. При данном процессе поддерживается статус созревания сгустка – maturationClot. Затем готовый ферментированный продукт охлаждают - Cooling2 и снова перемешивают mixing3, а затем отправляют на разлив. После опустошения танк получает статус dirty и сохраняет его, пока не пройдет этап отчистки, обозначенный статусом washing.

2.2.4.6. Мультиагентная модель работы агента – Paskager, имитирующая работу участка розлива и упаковки кефира

Схема мультиагентной модели работы агента – Paskager, имитирующая работу участка розлива и упаковки кефира представлена на рисунке 2.34.

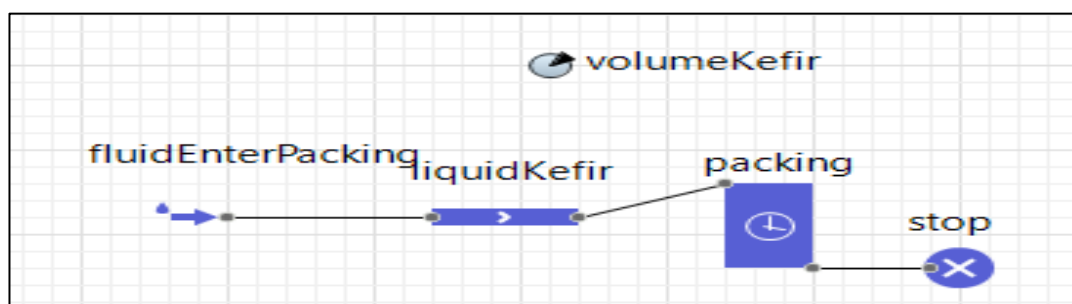


Рисунок 2.34 Схема мультиагентной модели работы агента – Paskager, имитирующая работу участка розлива и упаковки кефира

В агенте Paskager присутствует труба, транспортирующая кефир liquidKefir в танк packing, который имитирует работу оборудования по розливу

и упаковки кефира. Основной параметр для этого агента – это volumeKefir, отвечающий за объем кефира.

2.2.4.7. Диаграммы статусов

Агенты MilkTank, Ferment, MixTank содержат резервуары mixTank, fermentationTank, milkTank, которые имеют определенные статусы состояния. Статус состояния milkTank представлен в таблице 2.2.

Таблица 2.2

Статус состояния milkTank

Наименование	Статус
empty	Пустой
filling	Наполнение
cooling	Охлаждение
normalization	Нормализация
storage	Хранение
emptying	Опорожнение
Dirty	Грязный
washing	Отчистка

Статус состояния fermentationTank представлен в таблице 2.3.

Таблица 2.3.

Наименование	Статус
empty	Пустой
fillingWater	Наполнение водой
emptyingWater	Опорожнение воды
fillingMilk	Наполнение молоком
mixing	Перемешивание
fermentation	Сквашивание
storage	Хранение
emptying	Опорожнение

Dirty	Грязный
Washing	Отчистка

Статус состояния mixTank представлен в таблице 2.4.

Таблица 2.4.

Наименование	Статус
Empty	Пустой
fillingFerment	Заполнение закваской
fillingMilk	Заполнение молоком
mixing1	Смешивание
fermentation1	Сквашивание
Cooling1	Охлаждение
mixing2	Смешивание сквашенной смеси
maturationClot	Созревание сгустков
Cooling2	Охлаждение кефира
mixing3	Перемешивание кефира
Emptying	Опорожнение
Dirty	Грязный

2.2.4.8. Мультиагентная модель производства кефира

Схема мультиагентной модели производства кефира представлена на рисунке 2.35.

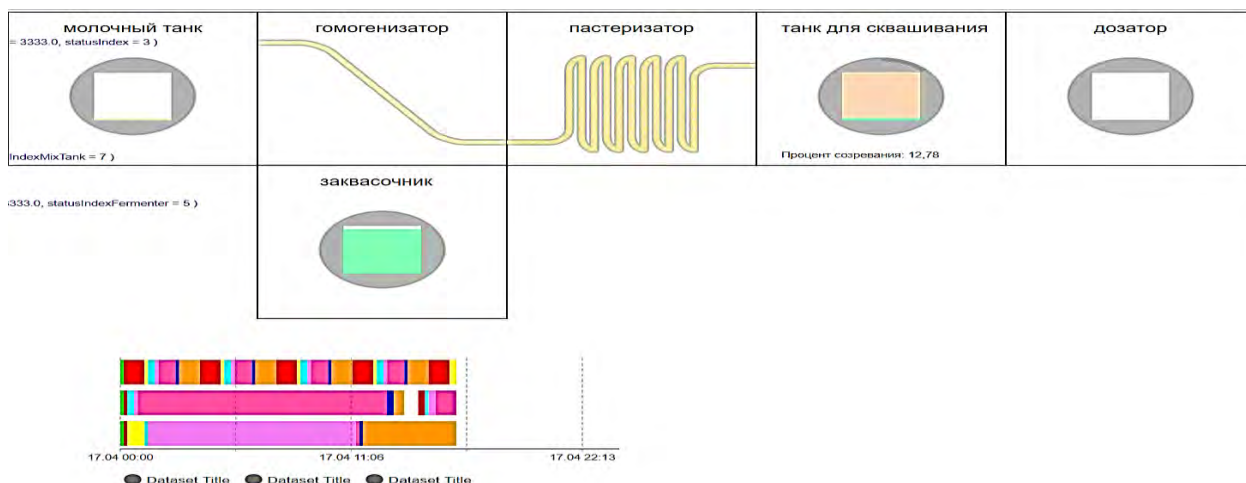


Рисунок 2.35 Схема мультиагентной модели производства кефира

2.3. Экспериментальные исследования с модулями имитационной модели производства кефира

Варьируя параметрами в заданных границах и зная возможности используемых при производстве кефира технологических модулей, были проведены экспериментальные исследования с различными модулями созданной имитационной моделью производства кефира.

Для оценки результатов работы линии производства кефира в разработанной имитационной модели была предусмотрена область, на которую выводятся показатели моделирования (рисунок 2.36).



Рисунок 2.36 Область «Результаты моделирования»

Представленные на рисунке 2.36 параметры были приведены затем к табулированному виду (таблица 2.5).

Таблица 2.5.

Расшифровка параметров результатов эксперимента.

Параметр	Тип данных	Описание
КолвоВоды	Int	Количество затраченной в литрах воды
КолвоМолока	Int	Количество затраченного в литрах молока
КолвоДобавок	Int	Количество затраченных в кг сливок
КолвоСухМ	Int	Количество затраченной в кг закваски
КолУпакПостав	Int	Количество упаковок закупленных для продукции

Начальные параметры мультиагентной имитационной модели производства кефира представлены на рисунке 2.37. Результаты проведенных исследований исследований показаны в таблице 2.6.

Общезаводские параметры

ОбъемАвто 6,000

МаксМолоковозов 30

ВремяМеждуМолоковозами 25

ПроцБракаТары 0.015

ПроцБракаУпак 0.03

ПроцСливов 0.1

Вид производимого продукта

ВыборПродукта:

- 1 - Пастеризованное молоко
- 2 - Пастеризованное молоко с добавками
- 3 - Восстановленное молоко
- 4 - Стерелизованное молоко
- 5 - Стерелизованное молоко с добавками
- 6 - Сметана
- 7 - Йогурт
- 8 - Кефир

klap1 0

klap2 1

klap4 0

Крышка 1

ВыборПродукта 7

klap3 0

klap5 0

Соломка 1

Параметры аппаратно-сырьевого цеха

ПроизПриемки 5,000

ПроизПастер 15,000

ПроизСтерел 12,000

ВрЗакваски 25

ВрФерм 65

КолСухМ 50

ВместХрСырМ 375

ВместХрПастМ 200,000

ВместХрСырСлив 30,000

КолДоб 100

ВместСмесит 10,000

ПрОхСырМ 15,000

ПрОхПастМ 15,000

ПрОхСлив 1,500

ВрСмешив 25

ВместЕмФермент 6,000

КолВоЗакваски 300

Фасовочные параметры

КолВКоробке 20

ПроизТСА49 15,000

ПроизTSA_21 10,000

ПроизУпак 13,000

ВрДоСклада 3

ПрПодТары 8,000

ВесФасовки 500

КолКорВПаллете 20

ПрФасовки 2,000

КолВоТары 2

КолВоШтаблеров 5

Ценовые параметры

СтоимТары 14

СтоимУпаковки 1.5

СтоимКрышки 0.5

СтоимСоломки 0.25

СтоимЗакваски 13

СтоимВоды 3

СтоимСухМ 175

СтоимДобавок 50

СтоимМолока 11

Рисунок 2.37 Начальные параметры мультиагентной имитационной модели производства кефира

Таблица 2.6

Результаты экспериментов

Тест №1			
Изменяемые параметры		Результаты	
Параметр	Значение	Параметр	Значение
ВесФасовки	1000	КолвоВоды	0
ПроизУпак	15000	КолвоМолока	342000
ПроизводТСА49	15000	КолвоЗакваски	2900
ПроизводTSA_21	15000	КолвоВоздуха	7200
ПрФасовки	8000	КолУпакПостав	284563
ПрПодТары	8000	КолвоБракУпаковки	8563
		ПотериНаБракеУпак	12844.5
		КолТарыПостав	13711
		КолвоБракаТары	199
		ПотериНаБракеТары	2786
		Всего_продукции	266000
		Стоим_продукции	4239300

		Стоим 1 упаковки	15.937
		Затраты на молоко	2926000
		Затраты на воду	0
		Затраты на ремонт оборудования	435000
		Затраты на сухМ	0
		Затраты на закваску	93600
		Затраты на упаковку	399000
		Затраты на крышки	133000
		Затраты на тару	186200
Тест №2			
Изменяемые параметры		Результаты	
Параметр	Значение	Параметр	Значение
ПроизПастер	500	КолвоВоды	0
ВрЗакваски	15000	КолвоМолока	342000
ВрФерм	15000	КолвоЗакваски	2900
ВрСмешив	15000	КолвоСухМ	7200
ВместимСмесит	8000	КолУпакПостав	569192
ВместЕмФерментир	8000	КолвоБракУпаковки	17192
		ПотериНаБракеУпак	25788
		КолТарыПостав	27108
		КолвоБракаТары	402
		ПотериНаБракеТары	5628
		Всего продукции	530000
		Стоим продукции	5007100
		Стоим 1 упаковки	9.447
		Затраты на молоко	2926000
		Затраты на воду	0
		Затраты на добавки	435000
		Затраты на сухМ	0
		Затраты на закваску	93600
		Затраты на упаковку	795000
		Затраты на крышки	265000
		Затраты на тару	371000
Тест №3			
Изменяемые параметры		Результаты	
Параметр	Значение	Параметр	Значение
ВесФасовки	1000	КолвоВоды	0
ПроизУпак	10000	КолвоМолока	342000
ПроизводТСА49	10000	КолвоДобавок	2900
ПроизводТСА 21	10000	КолвоСухМ	7200
ПрФасовки	5000	КолУпакПостав	284552

ПрПодТары	5000	КолвоБракУпаковки	8552
		ПотериНаБракеУпак	12828
		КолТарыПостав	13628
		КолвоБракаТары	189
		ПотериНаБракеТары	2646
		Всего продукции	266000
		Стоим продукции	4239300
		Стоим 1 упаковки	15.937
		Затраты на молоко	2926000
		Затраты на воду	0
		Затраты на добавки	435000
		Затраты на сухМ	0
		Затраты на закваску	93600
		Затраты на упаковку	399000
		Затраты на крышки	133000
		Затраты на тару	186200
Тест №4			
Изменяемые параметры		Результаты	
Параметр	Значение	Параметр	Значение
ПроизПастер	500	КолвоВоды	0
ВрЗакваски	10000	КолвоМолока	342000
ВрФерм	10000	КолвоДобавок	2900
ВрСмешив	10000	КолвоСухМ	7200
ВместимСмесит	5000	КолУпакПостав	569191
ВместЕмФерментир	5000	КолвоБракУпаковки	17191
		ПотериНаБракеУпак	25786.5
		КолТарыПостав	27027
		КолвоБракаТары	412
		ПотериНаБракеТары	5768
		Всего продукции	529600
		Стоим продукции	5003720
		Стоим 1 упаковки	9.448
		Затраты на молоко	2912800
		Затраты на воду	0
		Затраты на добавки	435000
		Затраты на сухМ	0
		Затраты на закваску	93600
		Затраты на упаковку	794400
		Затраты на крышки	264800
		Затраты на тару	370720
Тест №5			
Изменяемые параметры		Результаты	
Параметр	Значение	Параметр	Значение

ПроизПастер	250	КолвоВоды	0
ВрЗакваски	10000	КолвоМолока	342000
ВрФерм	10000	КолвоДобавок	2900
		Затраты на добавки	435000
		Затраты на сухМ	0
		Затраты на закваску	93600
		Затраты на упаковку	1506600
		Затраты на крышки	502200
		Затраты на тару	703080

Анализ полученных данных после проведения экспериментальных исследований позволил выявить слабые места производства.

Так, в результате проведённых экспериментов было установлено, что резервуар «молочный танк» частично заполнен, из-за чего его нельзя использовать. Он простаивает с малым количеством сырья, что сообщает нам о нерациональном использовании имеющихся объемов.

Гомогенизатор и пастеризатор забиты обработанным молоком, которое не может попасть в резервуар «танк для сквашивания», т.к. он заполнен и находится в долговременной стадии созревания кефира.

Для сквашивания кефира необходимо 5% закваски от общего объема сквашиваемой жидкости. Это необходимое количество находится в MixTank. Остальная закваска находится в заквасочнике большого объема и хранится в стадии созревания закваски.

Также по графику на рисунке 2.38 отображено температурное состояние жидкости в резервуаре MixTank.

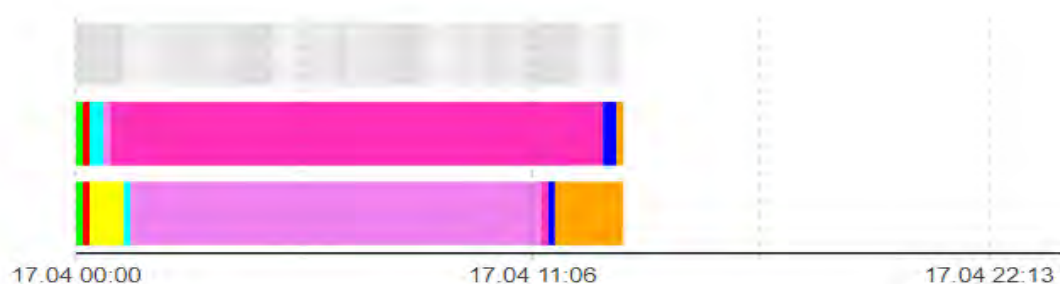




Рисунок 2.38 График температур в резервуаре MixTank.

Проведенные экспериментальные исследования показали также, что производственной мощности упаковочного и фасовочного цехов достаточно для полного обеспечения работоспособности линии производства кефира при загрузке его 342000 литрами сырья, что эквивалентно поступлению сырого молока с 57 автоцистерн. Даже при понижении производительности исследуемых технологических модулей на одну треть от максимального значения показателя объема выпуска продукции мало изменятся.

Таким образом, было исследовано влияние основных показателей упаковочного и фасовочного цехов на общие показатели производительности линии производства кефира.

Также, благодаря экспериментам, было выявлено, что при розливе продукции в бутылки емкостью 1 литр, возникает нехватка штабелеров для складирования готовой продукции, в результате чего происходит частичная потеря прибыли. В связи с чем, при малых фасовочных весах, рекомендуется увеличить количество штабелеров до 10 штук. На финансовые показатели работа разливочного и фасовочного цехов влияют незначительно.

Точно такие же экспериментальные исследования были проведены и по остальным модулям производства кефира. С помощью разработанной мультиагентной имитационной модели производства кефира, произведены эксперименты в цехе розлива и фасовки, благодаря которым были сформированы рекомендации для данных цехов. Подобным способом можно формировать рекомендации и для остальных

цехов производства. А значит, разработанная дискретно-событийная модель производства кефира может быть применена для оценки эффективности работы всей линии, всех задействованных в этом производстве цехов, планирования ее реконструкции и т.д. А, следовательно, полученная информационно-аналитическая мультиагентная система имитационного моделирования производства кефира может оказать помощь в формировании управленческого решения.

Полученная диаграмма UML позволила визуализировать разные аспекты поведения моделируемой системы производства кефира. И, благодаря разработанной мультиагентной имитационной модели производства кефира, возможно быстро оценить эффективность работы данной линии стороннему человеку.

Таким образом, разработанная дискретно-событийная мультиагентная имитационная модель производства кефира позволяет:

- производить различные изменения в структуре линии производства кефира и анализировать интересующие нас показатели;
- оценивать устойчивость и работоспособность используемого оборудования на длительном промежутке времени, при непрерывном производстве, тем самым выявлять узкие места производственной линии;
- имитировать модернизацию производства, не осуществляя серьезных финансовых затрат.

Преимущество имитационной модели заключается в контроле большего числа факторов и параметров, что подводит объем продукции к максимально приближенному действительному оптимальному значению. Также достоинствами модели производства кефира являются его поведение во времени и возможность проведения экспериментов, которые дадут полное представление о будущем производстве.

Подводя итоги проведенной работе, можно сделать вывод, что разработанная мультиагентная имитационная модель производства кефира также позволяет:

- уменьшить затраты и время при проектировании;
- уменьшить себестоимость проектирования;

- получить больше информации по будущему производству;
- минимизировать ошибки в расчетах;
- проводить обширные эксперименты над моделью производства в виртуальном пространстве.

2.4. Разработка структурно – параметрических моделей основных стадий ТП производства кефира

2.4.1. Модели процесса приемки молока и подготовки его к производству кефира

На рисунке 2.39 представлена разработанная структурно- параметрическая модель приемки молока (на основе проведенных в 1 главе исследований и выявленных наиболее информативных параметров).

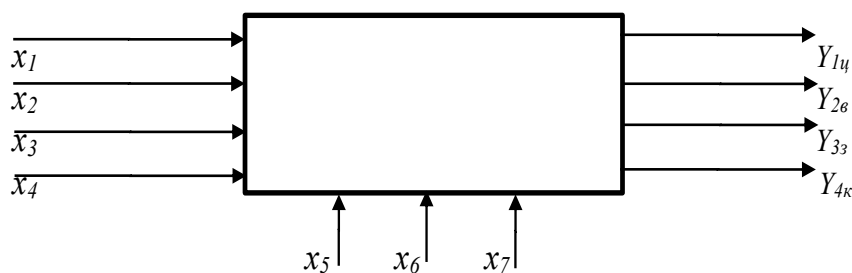


Рис. 2.39 Параметрическая модель приемки молока

X_1 – вязкость молока (1,5-2,1 м Пас при t 20°C) (μ);

X_2 – температура молока (4- 6°C) (t);

X_3 – плотность молока (1024-1028 кг/м³) (η);

X_4 – кислотность молока (16-19⁰T) (ОВП);

X_5 – массовая доля жира (3,4 – 3,9 %) (Ж);

X_6 – время перемешивания (240 - 360 мин) (τ);

X_7 - количество оборотов мешалки в емкости для сырого молока (50-60 в минуту) (n);

$Y_{1вз}$ – выходной параметр, характеризует вкус и запах основного сырья – сырого молока, поступающего на производство кефира (1 – 5 баллов);

$Y_{2кв}$ – выходной параметр, характеризует консистенцию и внешний вид основного сырья – сырого молока, поступающего на производство кефира (1 – 3 балла);

$Y_{3ц}$ – выходной параметр, характеризует цвет основного сырья – сырого молока, поступающего на производство кефира (1 – 2 балла).

Как было отмечено в 1 главе п.1.5. «Факторы, формирующие качество кефира», качество сырья (сырого молока), используемого для производства кефира, имеют определяющее влияние на качество готового продукта.

В таблице 2.7 представлена шкала дегустационной оценки внешнего вида и консистенции, а также цвета сырого молока, используемая экспертами качества молочной продукции [77, 99].

Таблица 2.7

Шкала дегустационной оценки внешнего вида и консистенции молока

Показатели продукта, общая оценка	Снижение оценки, баллы	Оценка, баллы
<i>Очень хорошо</i>	0	3
<i>Хорошо</i>	1	2
<i>Удовлетворительно</i>	2	1
<i>Плохо и очень плохо</i> (в зависимости от степени выраженности порока): слизистая консистенция	3	0

Цвет		
<i>Отлично: равномерный белый</i>	0	2
<i>Удовлетворительно: равномерный светло-кремовый</i>	1	1
<i>Неудовлетворительно: неравномерный</i>	1	0

Проведенный анализ и расчет имеющихся результатов экспериментальных исследований данного этапа позволил получить параметрическую модель основных показателей качества молока, полученного в результате приемки:

$$Y_{1вз} = 0,54X_1 + 0,48X_2 + 0,67X_3 - 0,72X_4 + 0,64X_5 + 0,42X_7 \quad (2.1)$$

$$Y_{2кв} = 0,65X_1 + 0,54X_2 + 0,73X_3 + 0,82X_5 + 0,46X_6 + 0,48X_7 \quad (2.2)$$

$$Y_{3ц} = 0,38X_2 + 0,72X_5 + 0,37X_6 \quad (2.3)$$

2.4.2. Разработка структурно – параметрической модели процесса охлаждения молока

На рисунке 2.40 представлена разработанная структурно- параметрическая модель процесса охлаждения молока.

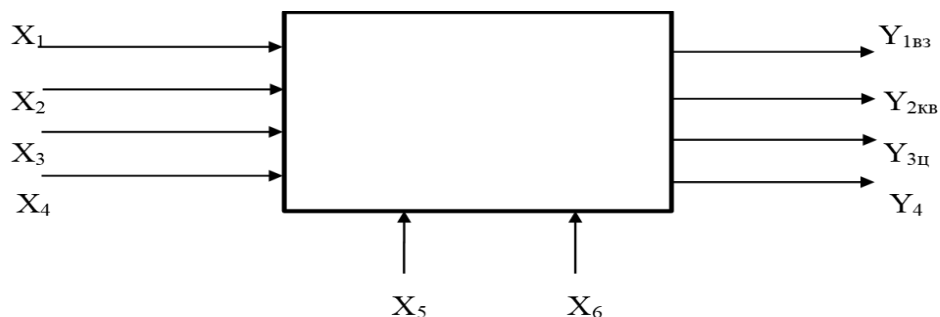


Рис. 2.40 Структурно- параметрическая модель процесса охлаждения молока

где:

$X_{1вз}$ – вкус и запах основного сырья – сырого молока, поступающего в пастеризационно-охладительную установку (1 – 5 баллов);

$X_{2кв}$ – входной параметр, характеризует консистенцию и внешний вид основного сырья – сырого молока, поступающего на производство кефира (1 – 3 балла);

$X_{3ц}$ – входной параметр, характеризует цвет основного сырья – сырого молока, поступающего на производство кефира (1 – 2 балла);

X_4 – температура молока на входе в пастеризационно-охладительную установку t (5- 10°C);

X_5 – температура хладоносителя в пастеризационно-охладительной установке t (0- 1°C);

X_6 – расход хладоносителя G (20 – 25 кг/ч на 1 тонну переработанного молока);

$Y_{1вз}$ – выходной параметр, характеризует вкус и запах основного сырья – сырого молока, поступающего на производство кефира (1 – 5 баллов);

$Y_{2кв}$ – выходной параметр, характеризует консистенцию и внешний вид основного сырья – сырого молока, поступающего на производство кефира (1 – 3 балла);

$Y_{3ц}$ – выходной параметр, характеризует цвет основного сырья – сырого молока, поступающего на производство кефира (1 – 2 балла);

$Y_{4т}$ – температура молока на выходе из пастеризационно-охладительной установки t (2- 6°C).

Набор статистических данных, полученных в результате проведения экспериментальных исследований представлен в таблице 2.8.

Таблица 2.8.

Набор статистических данных, полученных в результате измерений

$X_{1вз}$	$X_{2кв}$	$X_{3ц}$	X_4	X_5	X_6	$Y_{1вз}$	$Y_{2кв}$	$Y_{3ц}$	$Y_{4т}$
5	3	2	7	0	20	5	3	2	2
4	3	2	5	0	20	5	3	2	2
4	3	2	10	0	24	5	3	2	2
5	2	1	8	1	25	5	2	2	4
5	3	1	10	1	24	5	3	2	4
5	3	2	9	0	20	5	3	2	2
4	2	2	9	1	25	4	3	2	2
5	3	1	7	1	24	5	3	2	3

Таблица 2.9

Данные корреляционных связей

$X_{1вз}$	$X_{2кв}$	$X_{3ц}$	X_4	X_5	X_6	$Y_{1вз}$	$Y_{2кв}$	$Y_{3ц}$	$Y_{4т}$
1	0,149	0,173	0,113	0	0	0,916	0,178	0,169	0
0,979	1	0,686	0,115	0	0	0,225	0,952	0,464	0
0,113	0,174	1	0	0	0	0,132	0,121	0,952	0
0,734	0,835	0,352	1	0	0,322	0,483	0,678	0,463	0,722
0	0	0	0	1	0	0,324	0,572	0,353	0,887
0	0	0	0	0,246	1	0,244	0,268	0,114	0,416
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0,122	0	1	0,416	0
0	0	0	0	0	0	0	0,287	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0,732	0,514	1

Рассчитывались коэффициенты линейной множественной регрессии:

$$x_i = \sum_{j=0}^{n_i} p_{ind_{ij}} x_{ind_j} \quad (2.4)$$

На этом основании была определена матрица безразмерных характеристик связей [58].

Таблица 2.10

Матрица безразмерных характеристик связей

$X_{1вз}$	$X_{2кв}$	$X_{3ц}$	X_4	X_5	X_6	$Y_{1вз}$	$Y_{2кв}$	$Y_{3ц}$	$Y_{4т}$
1	0,15	0,17	0,11	0	0	0,92	0,18	0,17	0
0,95	1	0,69	0,11	0	0	0,22	0,95	0,46	0
0,11	0,16	1	0	0	0	0,13	0,12	0,95	0
0,73	0,83	0,35	1	0	0,32	0,48	0,68	0,46	0,72
0	0	0	0	1	0	0,32	0,57	0,35	0,89
0	0	0	0	0,25	1	0,24	0,27	0,11	0,42
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0,12	0	1	0,42	0
0	0	0	0	0	0	0	0,29	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0,73	0,51	1

Исходя из полученных характеристик связей между параметрами в процессе охлаждения молока в пастеризационно-охладительной установке, была получена следующая параметрическая модель процесса охлаждения молока:

$$Y_{1вз} = 0,87X_1 + 0,76X_2 - 0,44X_4 + 0,64X_5 \quad (2.5)$$

$$Y_{2кв} = 0,82X_2 - 0,62X_4 \quad (2.6)$$

$$Y_{3ц} = 0,78X_3 - 0,32X_4 \quad (2.7)$$

$$Y_{4т} = 0,22X_4 + 0,72X_5 + 0,47X_6 \quad (2.8)$$

2.4.3 Модели процесса нормализации молока по жиру

Используемая для реализации процесса нормализации молока в потоке установка представляет собой аппарат идеального перемешивания (узел смешения нормализуемого молока с обезжиренным в потоке). Технологическая схема процесса нормализации молока в потоке имеет вид, изображенный на рисунке 2.41.

Задача управления данной установкой состоит в поддержании постоянной (заданной) жирности нормализованного молока $Ж_n$, рассчитываемой по формуле:

$$Ж_n = Ж_m - Q_o/Q_n \cdot (Ж_m - Ж_o), \quad (2.9)$$

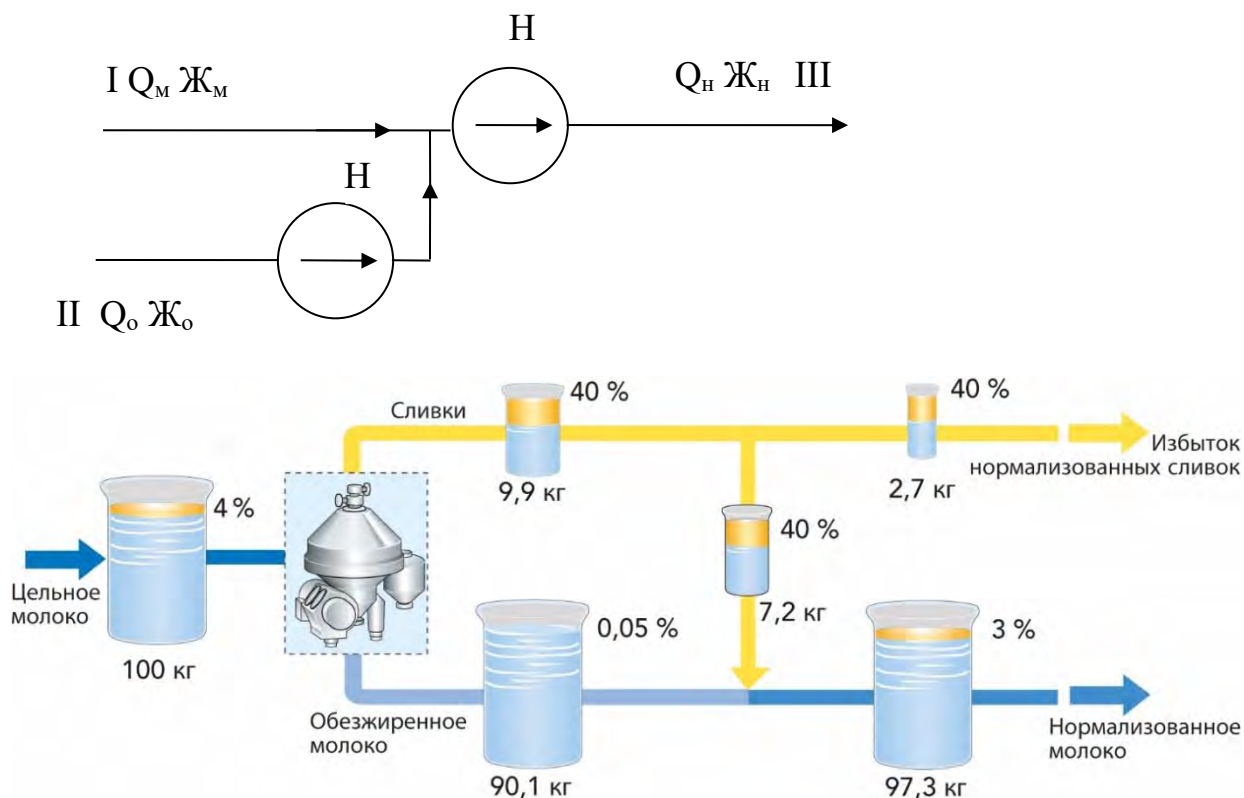


Рисунок 2.41 Технологическая схема процесса нормализации молока
 I – нормализуемое молоко; II – обезжиренное молоко; III – нормализованное молоко.

J_M, J_O, J_N – массовая доля жира соответственно в нормализуемом, обезжиренном, нормализованном молоке, %;

Q_M, Q_O, Q_N – расход соответственно нормализуемого, обезжиренного и нормализованного молока.

где: J_N – расчетное значение жирности нормализованного молока, % (3,2; 2,5; 1,0);

J_M – жирность исходного молока, % (2,0 – 6,0);

J_O – жирность обезжиренного молока, % (0,01 – 0,05);

Q_M – расход нормализуемого молока, кг/ч (18,00 - 28,00);

Q_N – расход нормализованного молока, кг/ч (14,00 - 16,00);

Q_O – расход обезжиренного молока, кг/ч (4,5 – 6,5).

На рисунке 2.42 представлена полученная структурно- параметрическая модель процесса нормализации молока.

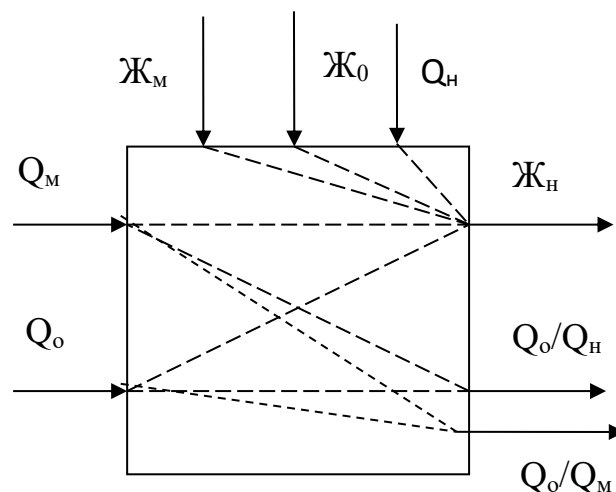


Рисунок 2.42 Структурно- параметрическая модель процесса нормализации молока

Входные контролируемые параметры:

X_1 – Q_M - расход нормализуемого молока, кг/ч (18,00 - 28,00);

X_2 – Q_0 - расход обезжиренного молока, кг/ч (4,5 – 6,5).

X_3 – Q_H – расход нормализованного молока, кг/ч (14,00 - 16,00);

X_4 – $Ж_M$ – жирность исходного молока, % (2,0 – 6,0);

X_5 – $Ж_0$ – жирность обезжиренного молока, % (0,01 – 0,05).

Выходной параметр:

$Y_{1жн}$ – $Ж_н$ - жирность нормализованного молока, % (3,2; 2,5; 1,0).

Статистические данные по данному ТП приведены в таблице 2.11.

Таблица 2.11

Статистические данные

X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	$Y_{1жн}$
18,82	4,58	14,00	3,2	0,01	2,5
18,24	6,12	15,64	3,0	0,04	3,0
27,79	5,68	14,75	4,0	0,05	3,2
24,27	6,49	15,85	3,5	0,01	1,0
21,25	4,78	16,00	5,9	0,03	3,2
27,45	5,14	15,22	4,5	0,03	2,7

Найденные коэффициенты были записаны в регрессионную матрицу связей (таблица 2.12). Затем матрица коэффициентов регрессии пересчитывали в

матрицу безразмерных характеристик связей и корректировали с учетом логики технологической системы:

Таблица 2.12

X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	Y _{1жн}
1	0,266	0,885	0,763	0,574	0,474
0,423	1	0,386	0,226	0,362	-0,286
0,541	-0,617	1	0,108	-0,321	-0,243
0,197	0,438	0,625	1	0,792	0,186
-0,411	0,204	0,976	0,796	1	0,179
0,341	0,178	0,276	0,212	0,798	1

Параметрическая модель качества ТП нормализации молока и его подготовке к производству кефира показывает наиболее информативные параметры и позволяет определить оптимальный критерий его качества.

$$Y_{1жн} = 0,72X_1 - 0,64X_2 + 0,84X_3 + 0,68X_4 + 0,54X_5 \quad (2.10)$$

2.4.4. Разработка структурно – параметрической модели процесса гомогенизации

Чтобы предотвратить отстаивание жира в молоке, необходимо уменьшить размеры жировых шариков, находящихся в нем, т.е. повысить степень диспергирования жировой фазы молока. Для этого применяют гомогенизацию молока (повышение однородности). Основное назначение гомогенизации молока — сделать жидкость однородной и обеспечить её длительную сохранность.

Эффективность гомогенизации зависит от многих факторов, обусловленных режимами ее проведения (температура, давление, времени проведения), а также свойствами и составом молока (массовая доля жира и сухих веществ, кислотность, вязкость, плотность). Процесс гомогенизации может быть эффективен только в том случае, когда жир находится в жидком состоянии. Поэтому температура гомогенизации 50 – 60 °С. В молоке после гомогенизации не происходит скопления жировых шариков и не наблюдается отстоя сливок.

В результате гомогенизации в молоке предотвращается отстаивание сливок, образуются однородные по величине шарики диаметром около 1 мкм (мелее), консистенция молока и сливок становится более вязкой и однородной. Степень диспергирования жировых шариков зависит от температуры, давления гомогенизации, содержания жира и др. факторов.

На рисунке 2.43 представлена структурно- параметрическая модель процесса гомогенизации молока, которая содержит следующие параметры:



Рис. 2.43. Структурно -параметрическая модель процесса гомогенизации

X_1 – температура молока, поступающего на гомогенизацию, t (45...55°C);

X_2 – вязкость молока, η (от 1,75 Пас до 2,0 Пас);

X_4 – плотность (от 1027 до 1034 кг/м³);

X_5 – давление гомогенизации от 10 до 20 МПа

X_6 – время гомогенизации τ (от 18 до 25 минут)

X_7 – температура процесса гомогенизации (50— 73)°С.

X_8 – титруемая кислотность T от 16 до 20°Т;

X_9 – массовая доля жира (2,5 – 3,5%);

$Y_{1жш}$ – величина жировых шариков от 0,45 до 1,00 мкм;

$Y_{2вм}$ – вязкость молока после гомогенизации, η (от 0,8 Пас до 1,2 Пас).

Проведенные расчеты позволили получить параметрическую модель ТП гомогенизации молока, что позволило определить наиболее информативные параметры и найти оптимальные критерии качества исследуемого процесса:

$$Y_{1жш} = -0,82X_1 + 0,88X_2 - 0,79X_3 + 0,74X_4 + 0,45X_5 - 0,76X_6 + 0,58X_7 + 0,84X_9 \quad (2.11)$$

$$Y_{2вм} = -0,76X_1 + 0,96X_2 - 0,62X_3 + 0,81X_4 + 0,24X_5 + 0,62X_6 - 0,73X_7 + 0,84X_9 \quad (2.12)$$

2.4.5. Разработка структурно – параметрической модели процесса пастеризации

Перед процессом пастеризации продукта запускается процесс стерилизации, заключающийся в термической дезинфекции установки. Как только температура воды в установке достигает заданного значения, начинается отсчет времени стерилизации. По окончании отсчета времени стерилизации, прекращается подача пара, звучит звуковая сигнализация, оповещающая об окончании процесса стерилизации и возможности перехода к процессу пастеризации.

Процессы и стерилизации, и пастеризации в значительной степени зависят от температуры обработки молока и времени обработки.

В таблице 2.13 представлены значения этих параметров [45].

Таблица 2.13

Основные режимы пастеризации и стерилизации

	Пастеризация	Стерилизация
Температура обработки молока	63 °С – 90 °С	125 °С – 145 °С
Срок хранения молока	36 часов	полгода
Показатели качества	Сохраняются	Все микроорганизмы уничтожены

Был подобран критерий качества Y_{1T} , удовлетворяющий текущим требованиям ТП пастеризации молока:

$$Y_{1T} = 0,92X_1 + 0,86X_2, \quad (2.13)$$

где: X_1 - температура обработки молока, t °С (63 – 90 °С);

X_2 - время пастеризации молока, τ (от 15 до 30 минут);

Y_{1T} - температура молока на выходе из установки пастеризации t °С (63 – 67 °С).

2.4.6. Разработка структурно – параметрической модели процессов заквашивания, сквашивания и созревания кефира

Операции по заквашиванию, сквашиванию и созреванию кефира являются важнейшими ТП в производстве кефира.

Для получения безопасного в эпидемиологическом отношении и качественного кефира необходимо направлять на изготовление кисломолочных продуктов только пастеризованное сырье; нормализацию и гомогенизацию проводить до пастеризации; закваску вносить немедленно после заполнения емкости или в процессе заполнения. Не допускать выдержки молока при температуре сквашивания без закваски; строго контролировать количество и качество вносимой закваски, продолжительность сквашивания; максимально сокращать производство кисломолочных продуктов термостатным способом (полностью переходить на резервуарный способ) [70, 71].

Для выработки гарантированных показателей качества кефира требуется строгое соблюдение технологических режимов на всех участках производства продукции. Скваживание молока происходит при температуре 23-30 °С в специальных резервуарах. Закваску вносят в потоке или любым другим способом при непрерывном помешивании молока, для чего резервуары оборудованы специальными мешалками. В потоке молоко смешивается с закваской, перекачиваемой из отделения производства закваски. Соотношение закваски и молока 5 : 100. После тщательного перемешивания молока с закваской включают мешалку. Продолжительность сквашивания составляет 10-15 ч. Конец сквашивания определяют по кислотности (90 – 100 °Тернера) и вязкости напитка. Прерывать сквашивание при более низкой кислотности нельзя, т.к. может выделиться сыворотка. При необходимой кислотности и вязкости сгустка в межстенное пространство емкости подают ледяную воду (2°С). Перемешивание должно осуществляться до тех пор, пока сгусток не приобретет однородную консистенцию.

Смешение молока и закваски может производиться и непосредственно в емкости. В этом случае сначала в емкость подается доза закваски, и затем молоко до заполнения емкости. После заполнения одной емкости подача молока прекращается, мешалку выключают. И кефир остается в покое для созревания.

Перед розливом кефир перемешивают для обеспечения однородной консистенции и структуры. В процессе розлива отбирают 2-3 единицы упаковки

и определяют в них содержание жира, измеряют температуру и определяют органолептические показатели.

На рисунке 2.44 представлена ФСА описанного участка закваски кефира.

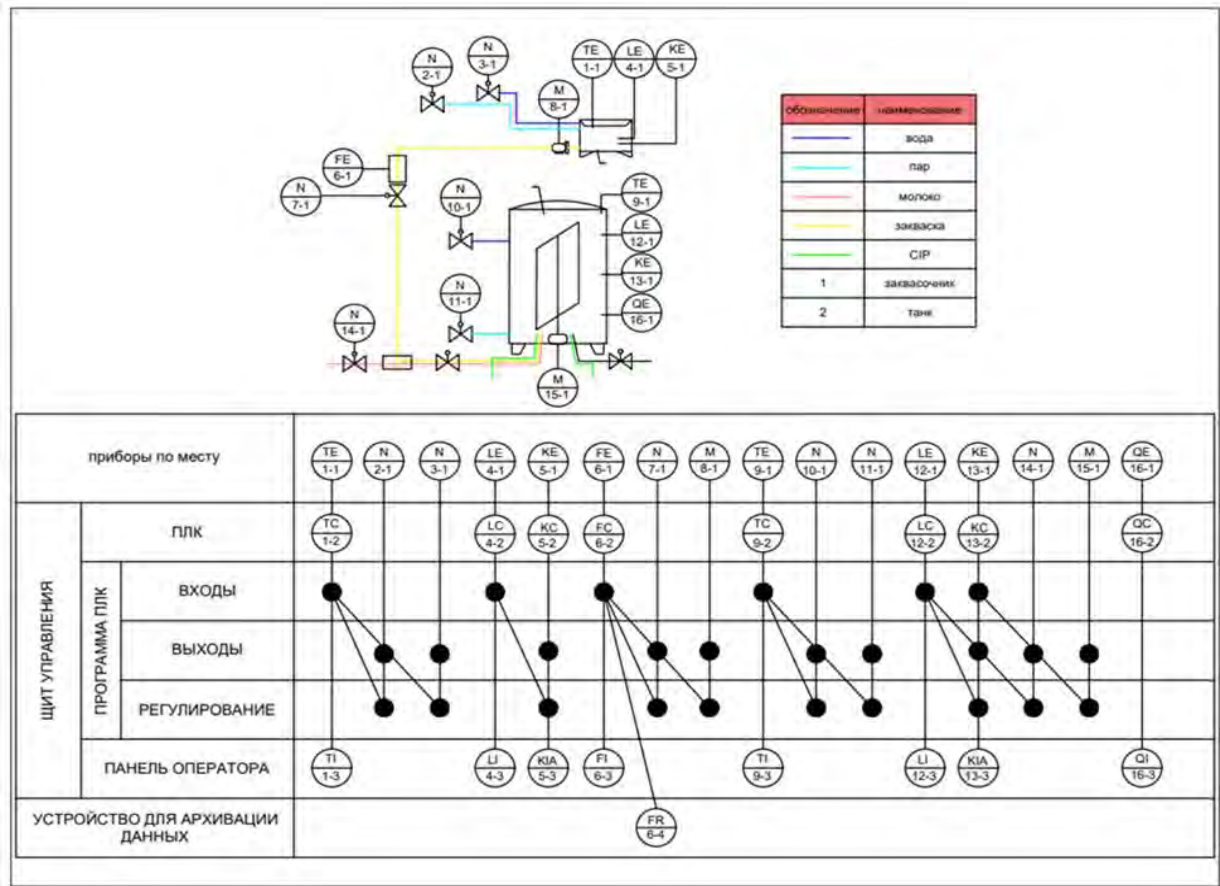


Рисунок 2.44 ФСА участка закваски кефира.

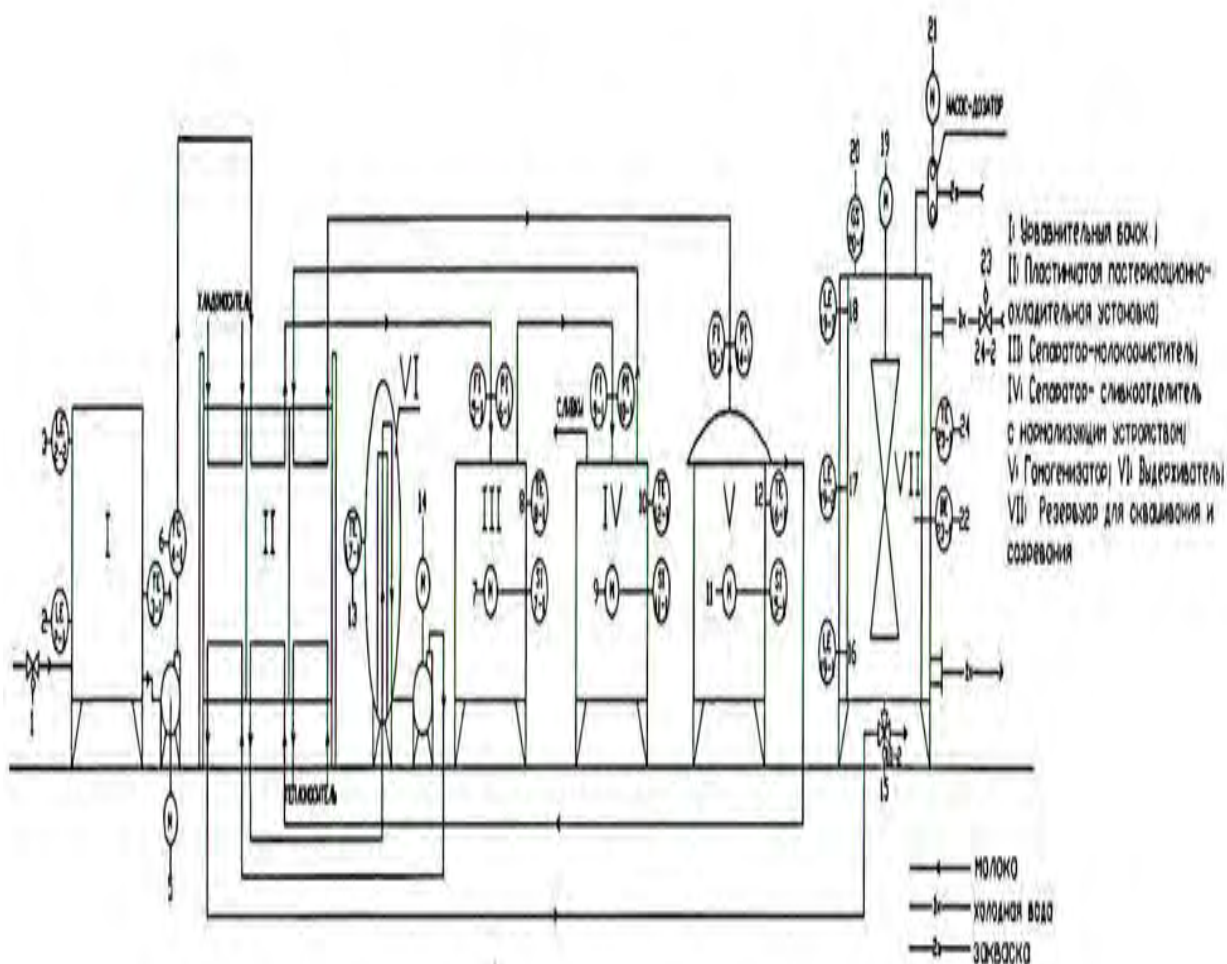
Под номером 1-1 представлен датчик температуры. Этот датчик необходим для измерения температуры молока в резервуаре 1, которое сквашивается до получения закваски в заквасочнике. Если молоко выходит за диапазон температур, то клапан под номером 2-1 и 3-1 подают в зависимости от обстоятельств пар для нагрева жидкости или холодную воду для охлаждения. Таким образом, молоко имеет необходимую температуру сквашивания.

Под номером 4-1 представлен датчик уровня. Он необходим для контроля уровня молока в резервуаре. Контроль уровня наполненности важен для данного этапа производства, потому что при сквашивании закваски, объем жидкости увеличивается. Как только молоко достигает нужной отметки, запускается таймер 5-1 для контроля длительного процесса сквашивания.

Под номером 6-1 расположен расходомер, связанный с клапаном 7-1 и насосом 8-1. Для созревания кефира в резервуар 2 необходимо подать определенное количество закваски. Под номером 9-1 представлен датчик температуры. Этот датчик необходим для измерения температуры молока в резервуаре 2. Температура регулируется холодной водой и горячим паром, поступающим при открытых клапанах 10-1 и 11-1.

Датчик уровня 12-1 необходим для контроля жидкости в резервуаре. Он связан с клапаном 14-1 для остановки подачи молока в резервуар и таймером 13-1 для контроля длительности процесса созревания кефира. Показания с таймера регулируют работу мешалки 15-1. Под номером 16-1 установлен датчик кислотности pH для контроля кислотности кефира.

На рисунке 2.45 представлена ФСА процессов сквашивания и созревания кефира.



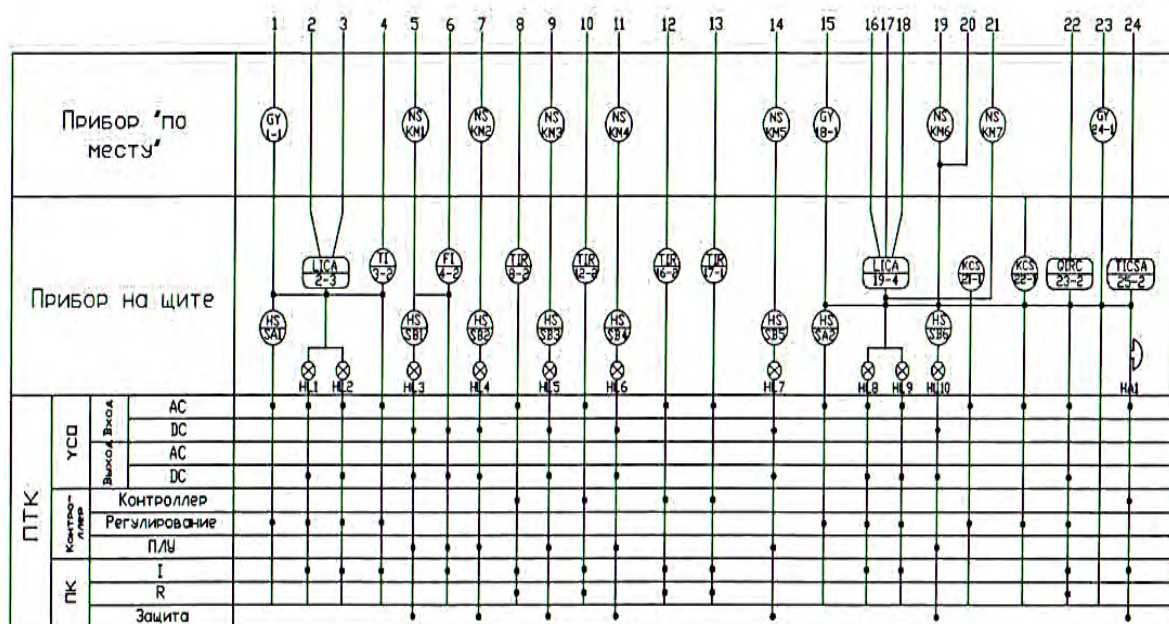


Рисунок 2.45 ФСА процессов сквашивания и созревания кефира

В схеме автоматизации, представленной на данном рисунке, регулирование технологических параметров осуществляется по программе с коррекцией ее по времени в зависимости от изменяющихся свойств перерабатываемого продукта.

Автоматическое управление процессом сквашивания молока в резервуаре осуществляется следующим образом. Резервуар для сквашивания заполняется молоком и закваской с помощью исполнительных механизмов 1-1 и 1-2, которые управляются через дистанционные панели управления. Для контроля работы датчика уровня используются сигнальные лампы HL1 и HL2. В процессе наполнения работает мешалка, которая подключена к регулятору напряжения 1-15. Это позволяет осуществлять плавное регулирование частоты вращения мешалки. Через 15 минут после заполнения мешалка отключается. Начинается процесс сквашивания молока, который продолжается 10 часов при температуре 23-30 °С. Определяется задание по двум каналам управления, т.е. по рубашке (1) и контуру (2). В рубашку аппарата подается ледяная вода для охлаждения продукта. Эта информация подается на контроллер, и контроллер

формирует управляющее воздействие на исполнительное устройство по каждому из каналов подачи тепла в аппарат. Эта система при такой структуре обладает повышенной надежностью и может работать в двух вариантах:

1. Если выходит из строя УВМ, управление будет осуществляться по упрощенной схеме, контроллером, по трем точкам получения информации о состоянии объекта.
2. Если выходит из строя контроллер, то функцию управления берет на себя УВМ, т.е. УВМ будет формировать управляющее воздействие на клапаны подачи теплоносителя. Управление будет осуществляться, исходя из температурного поля в аппарате и по времени работы мешалки. В данном случае УВМ берет на себя функцию контроллера и рассчитывает управляющее воздействие по каждому из клапанов подачи теплоносителя. Ход процесса контролируется датчиками pH 1-8, 1-13 и датчиками вязкости 1-9, 1-19, информация с которых поступает на контроллеры 1-14 и 1-20 соответственно. Скваживание контролируется по кислотности проточным РН метром 4.7-4.6. Затем кефир перемешивают и охлаждают по программе. В рубашки емкости подают ледяную воду, и при периодическом включении и отключении мешалки охлаждают полученный продукт до температуры 12-16 °С. Далее отключают подачу ледяной воды. Перемешанный и охлажденный кефир подают на розлив.

Общая структура управления участком – двухуровневая. На первом уровне расположены первичные измерительные преобразователи для получения информации о параметрах процесса и исполнительные механизмы. Второй уровень составляет управляющая ЭВМ.

Структурно- параметрическая модель процессов заквашивания, сквашивания и созревания кефира представлена на рисунке 2.46 и содержит следующие параметры:

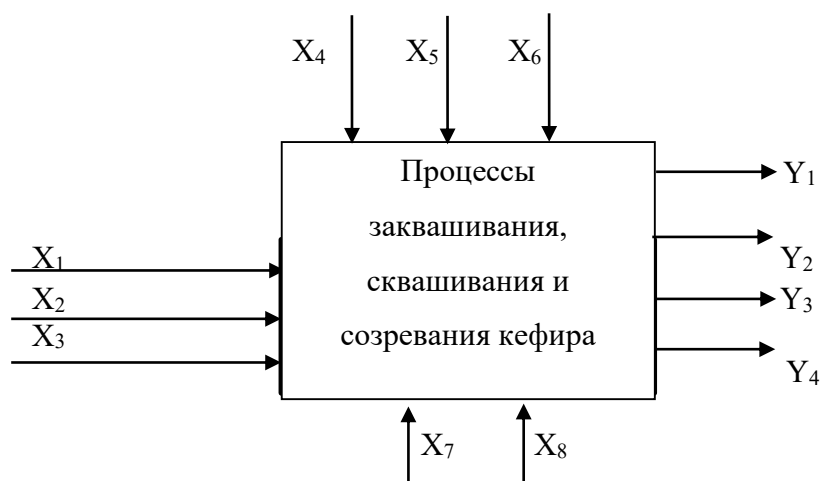


Рис. 2.46. Структурно- параметрическая модель процессов заквашивания, сквашивания и созревания кефира

X_1 - объем поступающего пастеризованного молока V т/час (7,5-8 т/час);

X_2 -температура поступающего пастеризованного молока t °C (63 – 67 °C);

X_3 – соотношение подаваемой закваски и молока (5 : 100);

X_4 - количество оборотов мешалки n (50-60 об. в мин.)

X_5 – температура сквашивания t °C (23-30 °C)

X_6 – время сквашивания молока τ (10 - 15 час.)

X_7 – время перемешивания молочной массы τ (10 - 15 мин.)

X_8 –вязкость закваски (1,5-2,1 м Пас при t 20°C)

$Y_{1к}$ – кислотность кефира, K °T (90 – 100 ° Тернера);

$Y_{2т}$ – температура кефира t °C (12- 16°C);

$Y_{3ж}$ – массовая доля жира $Ж$, % (3,4 – 3,9 %);

$Y_{4оп}$ – выходной параметр, характеризует качество (вкус, консистенция, внешний вид и цвет) готового кефира (1 – 10 баллов).

Исходные данные заданные экспертным путем были сформированы в виде массива случайных наблюдений $x(i,j)$. Предположим, что при проведении случайных измерений был получены следующие статистические данные (таблица 2.14) [59].

Таблица 2.14

Набор статистических данных, полученных в результате измерений.

X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	$Y_{1к}$	$Y_{2т}$	$Y_{3ж}$	$Y_{4оп}$
7,5	63	0,05	50	25	10	15	1,2	90	12	3,4	0,8

8,0	67	0,04	60	23	15	15	1,5	95	16	3,9	1,0
8,0	65	0,05	60	30	15	15	1,2	100	15	3,7	0,9
7,5	65	0,05	55	24	12	10	1,3	90	12	3,8	1,1
8,0	63	0,04	50	28	14	13	1,8	90	15	3,8	0,7
7,5	64	0,05	60	30	15	10	2,1	95	12	3,6	1,2

На основе полученных данных при $k = l, n; j = l, m$ для m -параметров в n наблюдениях сформируем таблицу корреляционных связей (таблица 2.15).

Таблица 2.15

Корреляционные связи данных.

X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	Y _{1к}	Y _{2т}	Y _{3ж}	Y _{4оп}
1	0,264	0,798	0,586	0,214	0,586	0,487	0,264	0,368	0,264	0,236	0,468
0,121	1	0,236	-0,364	0,687	-0,786	-0,362	-0,548	0,462	0,648	-0,624	0,548
0,587	0,212	1	0,216	-0,568	0,754	0,243	0,652	0,687	0,276	0,542	0,785
0,324	0,121	0,142	1	0,241	0,428	-0,624	-0,528	0,112	0,322	-0,346	0,254
0,348	0,132	-0,123	-0,322	1	-0,786	-0,644	-0,788	0,754	0,862	-0,783	0,546
0,112	0,231	0,214	0,141	0,241	1	0,648	-0,674	0,688	0,243	0,765	0,878
0,213	0,133	0,241	0,546	0,528	0,255	1	-0,655	0,212	0,312	-0,577	0,422
0,423	0,322	0,256	0,566	0,215	0,478	0,586	1	0,244	0,342	0,786	0,689
0,111	0,121	0,111	0,112	0,132	0,142	0,124	0,211	1	0,212	0,232	0,598
0,322	0,254	0,241	0,126	0,756	0,587	0,677	0,762	0,423	1	-0,674	0,468
0,222	0,121	0,334	0,468	0,433	0,566	0,646	0,866	0,354	0,244	1	0,877
0,556	0,658	0,788	0,458	0,587	0,678	0,768	0,688	0,769	0,564	0,688	1

Полученную таблицу корреляционных связей была подвергнута проверке значимости по критерию Стьюдента. В результате получили преобразованную матрицу коэффициентов корреляции R_{ij} (таблица 2.16).

Таблица 2.16

Преобразованная матрица коэффициентов корреляции

X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	Y _{1к}	Y _{2т}	Y _{3ж}	Y _{4оп}
1	0,742	0,212	0,411	0,792	0,432	0,511	0,724	0,643	0,732	0,763	0,533
0,881	1	0,773	-0,641	0,322	-0,224	-0,634	-0,451	0,542	0,353	-0,381	0,452
0,423	0,792	1	0,884	-0,442	0,256	0,767	0,448	0,323	0,734	0,468	0,225
0,684	0,983	0,862	1	0,769	0,582	-0,386	-0,482	0,898	0,724	-0,458	0,746
0,652	0,973	-0,877	-0,688	1	0,769	-0,356	-0,222	0,256	0,148	-0,217	0,464
0,892	0,774	0,796	0,869	-0,769	1	0,352	-0,336	0,322	0,757	0,235	0,132
0,794	0,864	0,759	0,464	0,472	0,745	1	-0,324	0,766	0,688	-0,433	0,588
0,583	0,682	0,744	0,434	0,785	0,532	0,414	1	0,754	0,658	0,224	0,311
0,99	0,881	0,899	0,898	0,878	0,868	0,886	0,587	1	0,798	0,778	0,412
0,682	0,753	0,769	0,874	0,254	0,423	0,333	0,646	0,587	1	-0,326	0,542
0,781	0,882	0,676	0,532	0,577	0,434	0,354	0,243	0,646	0,766	1	0,133

0,445	0,342	0,222	0,542	0,423	0,322	0,242	0,322	0,231	0,435	0,322	1
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	---

Найденные коэффициенты записываются в регрессионную матрицу связей (таблица 2.17).

Таблица 2.17

Регрессионная матрица связей

X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	Y _{1к}	Y _{2т}	Y _{3ж}	Y _{4оп}
1	0	0,19	0,41	0	0,41	0,51	0	0,63	0	0	0,53
0	1	0	0	0,31	-0,21	0	-0,45	0,49	0,45	-0,38	0,45
0,41	0	1	0	-0,43	0,25	0	0,35	0,31	0	0,46	0,22
0	0	0	1	0	0,57	-0,38	-0,47	0	0	0	0
0	0	0	0	1	-0,21	-0,36	-0,21	0,35	0,24	-0,22	0,45
0	0	0	0	0	1	0,35	-0,33	0,31	0	0,24	0,12
0	0	0	0,45	0,47	0	1	-0,35	0	0	-0,42	0
0,58	0	0	0,43	0	0,49	0,41	1	0	0	0,21	0,31
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0,39
0	0	0	0	0,24	0,41	0,32	0,34	0	1	-0,33	0,53
0	0	0	0,53	0	0,43	0,35	0,23	0	0	1	0,12
0,44	0,34	0,21	0,54	0,41	0,32	0,23	0,31	0,23	0,44	0,31	1

Полученная матрица коэффициентов регрессии пересчитывается в матрицу безразмерных сопоставимых характеристик связей (таблица 2.18).

Таблица 2.18

Матрица безразмерных характеристик связей

X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	Y _{1к}	Y _{2т}	Y _{3ж}	Y _{4оп}
1	0	0,81	0,59	0	0,59	0,49	0	0,37	0	0	0,47
0	1	0	0	0,69	-0,79	0	-0,55	0,51	0,65	-0,62	0,55
0,59	0	1	0	-0,57	0,75	0	0,65	0,69	0	0,54	0,78
0	0	0	1	0	0,43	-0,62	-0,53	0	0	0	0
0	0	0	0	1	-0,79	-0,64	-0,79	0,75	0,86	-0,78	0,55
0	0	0	0	0	1	0,65	-0,67	0,69	0	0,76	0,88
0	0	0	0,55	0,53	0	1	-0,65	0	0	-0,58	0
0,42	0	0	0,57	0	0,51	0,59	1	0	0	0,79	0,69
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0,61
0	0	0	0	0,76	0,59	0,68	0,76	0	1	-0,67	0,47
0	0	0	0,47	0	0,57	0,65	0,87	0	0	1	0,88
0,56	0,66	0,79	0,46	0,59	0,68	0,57	0,69	0,77	0,56	0,69	1

Исходя из полученных характеристик связей между параметрами были подобраны критерии качества Y_к, удовлетворяющие текущим требованиям к

ТП заквашивания, сквашивания и созревания кефира, что позволило определить наиболее информативные параметры и найти оптимальные критерии качества исследуемого процесса:

$$Y_{1к} = 0,54 X_3 + 0,46 X_5 + 0,62 X_8 \quad (2.14)$$

$$Y_{2т} = 0,65 X_2 - 0,76 X_5 - 0,59 X_6 - 0,68 X_7 - 0,76 X_8 \quad (2.15)$$

$$Y_{3ж} = 0,47 X_4 + 0,43 X_5 + 0,57 X_6 + 0,65 X_7 + 0,87 X_8 \quad (2.16)$$

$$Y_{4оп} = 0,56 X_1 + 0,66 X_2 + 0,79 X_3 + 0,46 X_4 + 0,59 X_5 + 0,68 X_6 + 0,57 X_7 + 0,69 X_8 \quad (2.17)$$

Как видно из полученных уравнений (2.14 – 2.17), на органолептические показатели качества готового кефира наибольшее влияние оказывают соотношение подаваемой закваски и молока, время сквашивания молока, вязкость закваски. Определенное влияние оказывают также объем поступающего пастеризованного молока, температура поступающего молока, количество оборотов мешалки, температура сквашивания и время перемешивания (выражение 2.17). Уравнение 2.14 показывает, какие из входных и регулируемых параметров оказывают наибольшее влияние на кислотность готового кефира. Из уравнения 2.15 видно, что наибольшее влияние на температуру готового кефира оказывают параметры X_2 , X_5 , X_6 , X_7 , X_8 . Уравнение 2.16 описывает наибольшее влияние на массовую долю жира готового кефира таких параметров, как X_5 – X_8 .

2.4.7. Модель процесса розлива кефира

Специально для работы с жидкими и вязкими молокопродуктами были разработаны автоматические машины розлива [86]. В зависимости от мощности на молокоперерабатывающем предприятии устанавливаются такие готовые автоматы для розлива кисломолочных продуктов. Современное оборудование для розлива может работать с жидкостями различной вязкости. Можно регулировать скорость и дозу фасовки, объем перерабатываемого продукта, тип тары. Имеется система для автоматической подачи пробки. Оборудование комплектуется этикетко-транспортирующим устройством (этикетка «wine-glass» 120-160мм.) [107].

На рисунке 2.47 представлена структурно- параметрическая модель процесса розлива готового кефира, которая содержит следующие параметры:

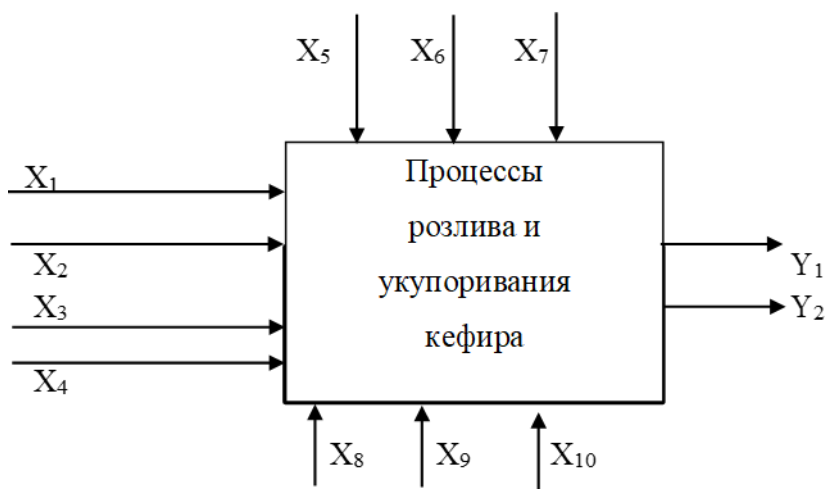


Рис. 2.47 Структурно - параметрическая модель процесса розлива и укупоривания готового кефира

- X_1 - температура кефира, поступающего на розлив t °C ($1 - 8$ °C);
- X_2 - реологические свойства готового кефира μ (от 4×10^{-2} Пас до 32×10^{-2} Пас);
- X_4 - доза фасовки (0,5; 1,0; 1,5л.);
- X_5 – объем поступающего на розлив кефира V т/час (7,5-8 т/час);
- X_6 – тип тары (стеклянная, пластиковая PET или XDPE бутылка);
- X_7 – зазор между дюзами дозатора и продуктом ϵ (10 - 15 мм.)
- X_8 - скорость движения дозатора (18 – 25 мм/с)
- X_9 – расход сжатого воздуха Q , л/мин: 800.
- Y_1 – производительность розлива и укупоривания бутылок кефира (от 1500 до 6000 бутылок в час при емкости 1,0 л.);
- Y_2 – выходная температура выпускаемой продукции t °C (12 – 16 °C).

Получены наиболее информативные параметры в задаче структурно - параметрического моделирования процессов розлива и укупоривания в процессе производства кефира и определены оптимальные критерии качества исследуемых процессов (уравнения 2.18, 2.19), что крайне важно для повышения эффективности всего процесса производства кефира, улучшения качества готового продукта и уменьшения издержек производства:

$$Y_1 = 0,54X_1 - 0,73X_2 + 0,74X_3 + 0,66X_4 - 0,78X_5 + 0,78X_6 + 0,39X_7 + 0,58X_8 + 0,78X_{10} \quad (2.18)$$

$$Y_2 = 0,87X_1 + 0,47X_3 + 0,55X_5 \quad (2.19)$$

2.5. Выводы по 2 главе

Проведено обоснование потребности в имитационном моделировании производства кефира.

Разработана мультиагентная подсистема поддержки принятия решений для автоматизации, идентификации и выявления проблемных зон производства кефира.

Проанализирована структура цехов производства кефира как логико-математического объекта имитационного моделирования.

Разработаны информационно-аналитические мультиагентные имитационные модели всех основных этапов производства кефира. Проведена идентификация и прогнозирование всех этих процессов на основе полученных имитационных моделей.

Разработана мультиагентная имитационная модель всего производства кефира. Проведены экспериментальные исследования с разработанной мультиагентной имитационной моделью по определению узких мест на различных этапах производства кефира.

Разработаны функциональные схемы автоматизации всех этапов производства кефира.

Выполнено структурно – параметрическое моделирование и разработаны параметрические модели всех основных процессов производства кефира: приемка молока; охлаждение молока; нормализации молока по жиру; гомогенизация; пастеризация; заквашивание, сквашивание и созревание кефира; розлив кефира. Проведена оценка диапазонов изменения значений наиболее значимых входных и выходных параметров для обеспечения стабилизации качества готового кефира в заданном диапазоне.

ГЛАВА 3. АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ОСНОВНЫХ ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА КЕФИРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

3.1. Возможность и технологии автоматического контроля основных органолептических показателей качества кефира

При анализе характеристик качества готовой продукции при производстве кефира необходимо учитывать влияние многих факторов, а также неопределенностей. Неопределенность, присущая слабо формализуемым ТП производства кефира, обусловлена невозможностью определения качества готового кефира традиционными инструментальными способами. Оператор оценивает качество готового кефира визуально органолептическими методами. Традиционные регуляторы в этих условиях не применимы из-за отсутствия четкой информации о ходе процесса производства и изменениях при этом входных параметров.

Таким образом, в виде основной выходной координаты исследуемого объекта управления выступает качество выпускаемой продукции, представляющее комплексный показатель, который не измеряется традиционными методами, а оценивается экспертами органолептическими методами.

В связи с функционированием производства в условиях невозможности измерения качества готовой продукции в потоке традиционными средствами сформулируем основную задачу для разработки интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кефира: *разработать методы и способы автоматизации контроля в потоке основных органолептических показателей качества готового кефира с использованием интеллектуальных технологий*. И на этой основе создать интеллектуальную автоматизированную систему контроля и управления нестационарным объектом производства для получения оптимального качества готового кефира.

Проведенный предварительный обзор и анализ интеллектуальных информационных технологий позволил выделить 6 базовых наиболее перспективных интеллектуальных информационных систем (ИИС) для решения задач интеллектуализации управления качеством производства кефира [54, 73]. Это:

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

Проанализируем возможность использования данных интеллектуальных технологий для автоматического контроля основных показателей качества кефира. Как известно из наших исследований (глава 1), к важнейшим показателям качества кефира, как указывалось в п.1.4., относятся: внешний вид, цвет, вкус и консистенция.

Показатель *внешний вид и цвет* обозначают зрительное восприятие продукта [82, 88, 120]. Для оценки внешнего вида кефира используют множество характеристик: текстуру поверхности, степень прозрачности или непрозрачности, размер, форму, цвет [96, 98]. С помощью визуального осмотра оценивается наличие газообразования, микрообразований, макроструктура и форма, а также цвет. Все эти показатели в настоящее время в режиме реального времени измерить невозможно - подобные анализы производятся только лабораторно. Оператор же осуществляет с помощью балльных оценок контроль качества внешнего вида и цвета кефира, используя органолептические методы. Поэтому появляется задача автоматизации контроля в потоке этих важных органолептических показателей качества кефира: внешнего вида и цвета.

Проведенный нами обзор и анализ научной литературы в этой области показал, что для автоматизации контроля этих важнейших показателей качества готового кефира целесообразно применение системы компьютерного зрения (СКЗ) [12, 23, 28, 97]. Основными задачами СКЗ являются обнаружение,

отслеживание и классификация объектов (п.1.8). СКЗ работает с визуальной информацией, обработав которую, получает данные, которые в дальнейшем будут передаваться в интеллектуальную автоматизированную систему контроля и управления (ИАСКУ) качеством кефира. А ИАСКУ, в свою очередь, основываясь на этих данных, будет строить запрос к базам знаний системы и, на основании полученного результата, давать рекомендации пользователю.

Аналогичную оценку можно дать и второму важнейшему показателю качества - это *вкус* кефира. Оперативный контроль данного показателя качества осуществляется 1 раз в смену органолептическими методами. Инструментальных средств автоматизации контроля этого показателя нет. В настоящее время этот показатель определяется только в лабораторных условиях. Обзор и анализ научной литературы в этой области показал перспективность использования для автоматизации вкуса кефира нейросетевых технологий [14, 87].

Еще один важный показатель качества готового кефира – это его консистенция, являющаяся реологической характеристикой продукта (ГОСТ 31454-2012. Межгосударственный стандарт. КЕФИР. Технические условия). Обзор и анализ научной литературы в данной области показал, что в настоящее время для контроля за ходом различных технологических процессов пищевой промышленности, определения степени готовности полуфабрикатов и готовой продукции, создания систем автоматического регулирования и управления этими процессами все шире и шире применяют методы вискозиметрии. Это объясняется как простотой измерения данного параметра, так и тем, что вязкость является одним из основных реологических параметров, характеризующих оптимальное протекание технологического процесса и определяющих качество готового продукта. Практически нет технологического процесса пищевой промышленности, который мог бы обойтись без таких измерений и, следовательно, без вискозиметров. Поэтому для обеспечения автоматизации контроля этого важного органолептического показателя качества кефира очень существенным становится разработка метода и устройства для определения в потоке вязкости кефира и получение выходного сигнала в цифровом виде.

В настоящее время в лабораториях молочных предприятий для определения вышеназванных органолептических показателей затрачивается достаточно большое количество времени. И эти характеристики для управления процессом производства кефира перестают быть актуальными (эффект чистого запаздывания).

Автоматизация контроля основных органолептических показателей качества готового кефира в потоке дает возможность формализовать процесс производства данного кисломолочного напитка и использовать получаемые цифровые сигналы для целей управления.

Резюмируя вышесказанное, сформулируем задачу управления подобным слабо формализуемым процессом производства кефира: необходимо обеспечить заданное качество готовой продукции, автоматизируя контроль в потоке основных органолептических показателей качества этого продукта.

3.2. Автоматизация контроля в потоке внешнего вида и цвета кефира

3.2.1 Теоретические аспекты автоматизации контроля внешнего вида и цвета кефира с использованием СКЗ

Компьютерное зрение рассматривается как раздел искусственного интеллекта. При этом обработка видеоинформации осуществляется на универсальных или специализированных компьютерах.

Как указывалось ранее, в 1 главе (п.1.8) СКЗ (системы компьютерного зрения) получили широкое применение в различных областях техники и промышленности. В частности, СКЗ широко используются для решения задач контроля качества продукции, включая различные отрасли пищевой и перерабатывающей промышленности [12, 23, 28, 40, 41, 82, 90, 97]. Повышение эффективности функционирования СКЗ, пополнение арсенала методов и средств предварительной обработки изображения и построения классификаторов, сочетающих требуемые показатели по быстродействию и достоверности идентификации, исследуются многочисленными коллективами. Известны системы

СКЗ таких ведущих производителей, как Omron, Buhler, Cognex и их российских партнеров: «Сенсотек» и «Малленом Системс». Перспективные СКЗ для объектов природного происхождения в задачах пищевой и перерабатывающей промышленности рассмотрены в работах [12, 23, 95, 101] на основе различных методов распознавания: статистических, нейронных сетей (НС), байесовских сетей, метода главных компонент, методов с использованием гистограмм, классификатора Viola- Jones и т.д.

Разработка интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кефира требует обеспечения распознавания СКЗ типов и внешнего вида видимой поверхности кефира и его цвета при высокой вариативности их свойств.

Компьютерное зрение теснее всего связано с анализом и пониманием изображений. Здесь можно выделить: бинарные, полутоновые и цветные изображения, а также мульти- и гиперспектральные изображения [118].

Кроме того, и сами изображения могут быть не только двумерные, но и объемные. Дополнительно, можно выделить видеоряды, которые являются трехмерными.

По способу освещения системы компьютерного зрения могут быть разделены на пассивные – работающие с изображениями, полученными в естественных условиях освещения, и активные – использующие некоторый генератор излучения (например, системы со структурированной подсветкой и т.д.).

Для автоматического контроля внешнего вида и цвета кефира необходимо решать задачу обработки получаемой в нескольких каналах информации об исследуемом продукте.

Наиболее распространенными являются методы стереозрения и восстановления дальности из двух произвольных проекций, что относится к пассивным методам.

В качестве переменных могут выступать элементы изображения (области исследуемой массы, структурные элементы, значения каких-либо признаков).

Иногда элементы СКЗ включает подсистему манипулирования знаниями (например, логического вывода).

На рис. 3.1. представлена предлагаемая структурная схема модуля автоматического контроля внешнего вида и цвета кефира с использованием системы компьютерного зрения.

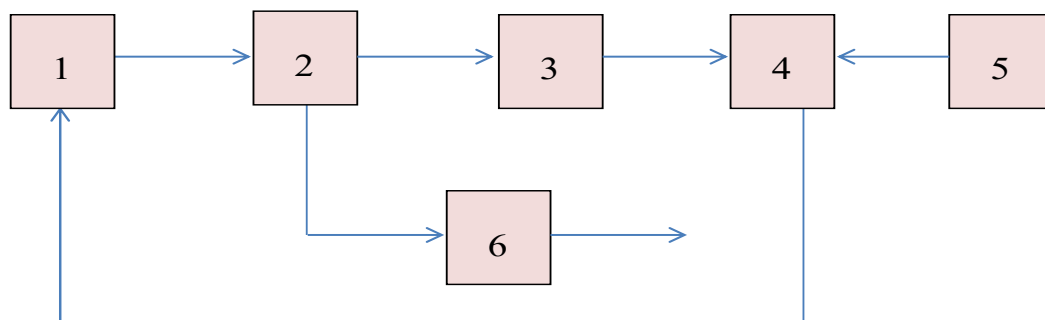


Рисунок 3.1 Структурная схема модуля автоматического контроля внешнего вида и цвета кефира с использованием СКЗ

1 – ТП производства кефира; 2 – кефир; 3 – цифровая видеокамера; 4 – интеллектуальная система принятия решения о внешнем виде и цвете кефира; 5 – база данных эталонных образцов кефира разных видов; 6 – передача кефира на дальнейшие операции розлива кефира в бутылки.

Рассмотрим более подробно интеллектуальную систему принятия решения о внешнем виде и цвете кефира.

3.2.2. Алгоритм проведения анализа и обработки изображений внешнего вида и цвета кефира

1). Формирование и представление изображений различных видов готового кефира

Для автоматизации контроля в потоке внешнего вида и цвета кефира с использованием системы компьютерного зрения были сформированы и представлены на рисунке 3.2 изображения поверхности различных видов готового кефира (0,1%, 1%, 2,5%, 3,2% и др.). Последующая обработка этих изображений позволяет получить данные для проведения предобработки, являющейся

одним из важнейших начальных этапов формирования и представления изображений внешнего вида и цвета готового кефира.



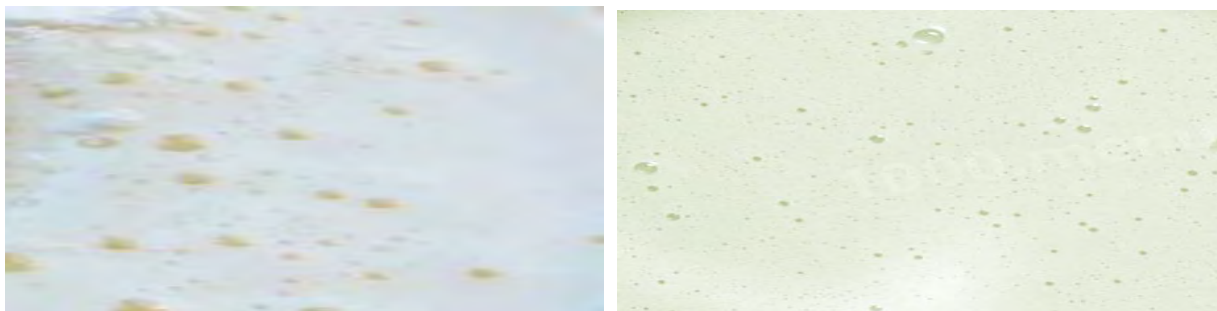


Рисунок 3.2. Изображения внешнего вида и цвета различных видов готового кефира

Первым является этап предварительной обработки изображения (предобработка).

2). Предобработка

Предобработка включает предварительное рассмотрение структуры цифрового изображения, которое состоит из фиксированного количества строк и столбцов пикселей (pixels).

Для оценки качества внешнего вида и цвета кефира подсчитывается количество пикселей на полученных изображениях готового кефира (рисунок 3.2) по специально подобранной программе обработки изображений. Полученные данные будут являться входными сигналами для интеллектуальной системы принятия решения о внешнем виде и цвете кефира.

3). Интерпретация изображения для их анализа и преобразования.

Каждое изображение представляется в виде набора точек с соответствующими значениями яркостей.

4). Выделение контуров изображения.

Следующим этапом является выделение контуров.

5). Сопоставление изображений для их распознавания

На следующем этапе проводится сравнение текущего изображения с несколькими эталонными изображениями. Ключевым моментом распознавания является определение меры сходства исследуемого изображения с одним из эталонных классов (например, определение принадлежности изображения поверхности №2 к 1% кефиру, которое значительно отличается от изображения поверхности 2,5% кефира или 3, 2% и т.д.).

6). Поиск в базе данных изображений кефира различной текстуры и цветовой гаммы с применением специальных программных продуктов обработки запросов по образцу в существующих специальных базах данных.

7). Сравнение цветового содержания одного из изображений кефира с цветовым содержанием эталонного изображения в системе QBIC.

Среди популярных поисковых систем, допускающих поиск по изображению, можно выделить Google, Яндекс и TinEye. Результаты поиска по изображению Google и Яндекс бывают очень разнообразными – от точно такого же разыскиваемого изображения, до изображений с похожей цветовой гаммой или формой. К результатам поиска может быть добавлена тематическая информация по найденному ресурсу. Поисковая система TinEye выдает список точно таких же изображений, с небольшим отличием в размере, масштабе, цветовой гаммы и некоторыми деталями на изображении, а в качестве дополнительной информации предоставляет ссылки на ресурсы, где было найдено это изображение. Существуют также и узконаправленные сервисы, рассчитанные на поиск тематических ресурсов по загруженным фотографиям. Большой популярностью пользуются библиотеки приложения для поиска цвета исследуемого предмета.

Классической архитектурой системы поиска изображений по содержанию является CBIR – Content-based image retrieval. Обзор работ по данному направлению показал, что системы CBIR имеют эффективное сочетание точности выдаваемого результата с временем поиска по коллекции изображений.

Одной из наиболее эффективных систем автоматического поиска изображений в базе данных на основе особенностей цвета и формы является система QBIC (Query by Image Content) [83]. На основе данной системы сформирован протокол работы визуального поиска изображений по содержанию. В качестве поискового запроса в таких системах используется изображение или набор его характеристик, которые условно разделяются на четыре основные группы: характеристики цвета, характеристики текстуры, характеристики формы и характеристики объектов.

8). Определение характеристик текстурного сходства исследуемых изображений с эталонными, поиск и сопоставление изображений

Следующим этапом является определение характеристик текстурного сходства исследуемых изображений с эталонными, а также поиск и сопоставление изображений.

Для решения данной задачи рассматриваются и выбираются по образцу наиболее эффективные критерии схожести изображений.

Первый критерий схожести изображений - наличие или отсутствие одного и того же объекта.

Второй критерий - схожая цветовая гамма. Изображения могут иметь совершенно разные объекты, конфигурацию сцены, но будут похожи по соотношению присутствующей палитры цветов.

Таким образом, в зависимости от выбранной цели поиска изображений по образцу, выбирается соответствующий критерий схожести.

Компьютерное зрение позволяет выделять ключевые особенности на изображении (углы, границы области), производить поиск фигур и объектов в реальном времени, выполнять 3D реконструкцию по нескольким фотографиям и многое другое [118].

Для поиска изображения анализируется его содержание, вроде численных характеристик пикселей изображения [129]. Каждое исследуемое изображение коллекции описывается векторами признаков (feature vector) - наборами числовых параметров, отражающих свойства низкоуровневых характеристик изображения (цвет, текстура, форма [81]). Поэтому поиск в такой системе происходит по векторам признаков изображений. Чем больше размерность вектора, тем подробнее он описывает характеристику изображения, но тем больше времени требуется на сравнение векторов между собой.

Классическая архитектура CBIR - системы (рисунок 3.3) похожа на архитектуру классических поисковых систем. Для CBIR-систем также характерно выделение двух модулей: модуля индексирования и модуля поиска.

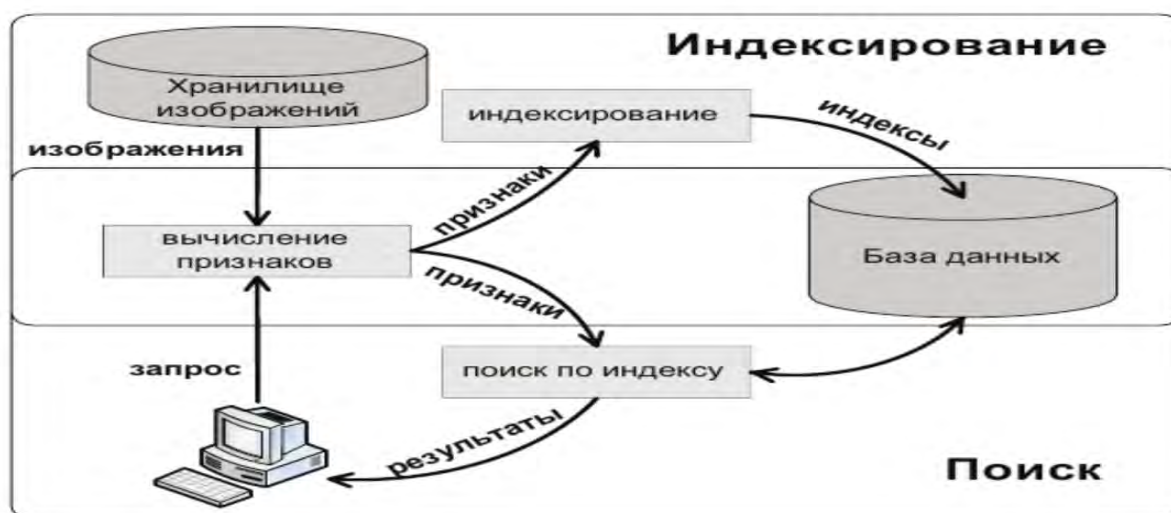


Рисунок 3.3 Классическая архитектура CBIR- системы

Алгоритмы вычисления векторов признаков изображений являются одними из ключевых элементов CBIR-системы. На вход системы подается изображение, где далее вычисляются векторы его признаков. Полученные векторы передаются в модуль индексирования, где по их значениям строится индекс. Для изображения-запроса используется тот же принцип. Полученные вектора признаков изображения-запроса используются для поиска по векторам изображений в коллекции.

Математическая модель поиска изображений по содержанию описывается следующим образом [58, 59]:

$$j = \arg \min \{ \rho(x, i) \mid x \in I \}, \quad (3.1)$$

где I – множество изображений в базе данных, i – изображение-запрос, j – изображение из коллекции, наиболее похожее на изображение-запрос, ρ – функция расстояния между изображениями, построенная на основе заданной метрики.

В реальных системах часто требуется найти не одно, а множество изображений, похожих на изображение запрос:

$$J = \{ j \mid \rho(j, i) \leq \Delta \}, \quad (3.2)$$

где Δ – величина, определяющая допустимое отличие результата поиска от заданного изображения [10].

Для определения меры сходства изображений в CBIR-системах многие исследователи выделяют несколько уровней содержания изображений. Цвет и яркость относят к низкоуровневому содержанию. Физические объекты, такие как оборудование, оператор, технолог и др., относятся к содержанию высокого уровня. Текстуру при этом часто называют содержанием среднего уровня. В литературе представлено большое количество различных подходов к моделированию низкоуровневых характеристик изображения. И большинство CBIR систем построено на алгоритмах обработки низкоуровневого содержания.

Среди различных цветовых характеристик изображения наиболее часто используется гистограмма цветов, вектор цветовой связности, коррелограмма цветов, цветовые моменты, дескриптор доминантного цвета [120]. Цветовая гистограмма вычисляется в результате подсчета числа пикселей на изображении или его области, попадающих в определенные ячейки в некотором цветовом пространстве. Достоинством цветовых гистограмм является простота и высокая скорость получения. К недостаткам относят чувствительность к масштабу. Вектор цветовой связности позволяет объединить информацию о цветовом содержании изображения с пространственной информацией [72].

Текстурные характеристики описывают пространственное распределение цветов или значений интенсивности на изображении. Текстурная характеристика является мерой таких свойств изображений или их областей, как состояние поверхности (гладкость, наличие пузырьков, горбов и т.д.), цвет, целостность, размер [77, 99].

За последнее десятилетие была создана большая теоретическая база в сфере обработки изображений и поиска на нём различных объектов [101]. Например, это методы контурного анализа, поиск шаблона, выделение особых точек - ключевых признаков на изображении и генетических алгоритмов [101]. В контексте данной работы особый интерес представляют алгоритмы выделения ключевых признаков изображения.

Концепция feature detection в компьютерном зрении относится к методам, которые нацелены на выделения на исследуемом объекте ключевых особенностей. Эти особенности могут быть как в виде изолированных точек, так и в виде кривых или связанных областей.

В зависимости от используемого математического аппарата, алгоритмы поиска особых точек изображения могут быть направлены на поиск углов (особые точки, которые формируются из двух или более граней; они, как правило, определяют границу между различными объектами) и описание этого изображения (blobs) [112]. К первой группе, к примеру, можно отнести детектор Харриса, метод FAST, ко второй – SIFT, SURF, BRIEF.

Самые известные алгоритмы поиска особых точек изображения - SURF и SIFT.

Технологии и программные средства для работы с изображениями

За прошедшее десятилетие различными организациями и научными сообществами для поиска и сопоставления изображений было создано несколько сот библиотек компьютерного зрения. Большинство из них написаны на языке C++, что делает возможным применение этих библиотек на различных платформах и обеспечивает хорошую скорость и производительность [97].

В последние годы, большую популярность приобрел язык программирования Python. Python – это один из наиболее популярных современных языков программирования, пригодный для решения разнообразных задач и предлагающий те же возможности, что и другие языки программирования: динамичность, поддержку и кроссплатформенность.

Существуют несколько известных реализаций среды исполнения Python: CPython, Jython и Python.NET. Среда исполнения CPython обычно называется Python. Состоит из интерпретатора и модулей расширения, написанных на языке C, и может использоваться на любой платформе, для которой доступен стандартный компилятор C [113].

Библиотека OpenCV является одной из самых известных и развитых библиотек компьютерного зрения. В её состав входят следующие модули:

- обработка изображений;
- построение пользовательских интерфейсов, загрузка/сохранение видео и аудиоданных;
- анализ движения и отслеживания объектов (оптический поток, шаблоны движения, устранение фона);
- поиск, анализ и сравнение ключевых точек изображений;
- детектирование объектов на изображении (вейвлеты Хаара, HOG и т. д.);
- методы и модели машинного обучения (SVM, деревья принятия решений и т. д.).

После изучения вышеописанных методов для поиска изображений по образцу, перспективными и представляющими особый интерес в контексте данной работы являются алгоритмы AKAZE и ORB. Оба алгоритма в своей стандартной реализации имеют бинарный дескриптор.

9). Следующей стадией данного этапа является *оценка внешнего вида и цвета кефира по его фотографии* с использованием описанных алгоритмов и приложений. Основная идея данного этапа – это поиск информации по эталонным – ресурсам внешнего вида и цвета кефира, где информацию можно получить либо по названию запрашиваемого ресурса, либо загрузив его изображение.

Для решения намеченных в работе задач по автоматизации контроля в потоке внешнего вида и цвета кефира необходим блок, выполняющий всю вычислительную работу по загрузке и преобразованию изображений в векторный вид, и поиск по эталонному хранилищу изображений. Так как для реализации поиска по коллекции эталонных изображений будет применяться достаточно ресурсоемкий алгоритм, было решено сузить охват поиска, и организовать его только для категории именно кефира, а не молочных продуктов вообще. Серверная часть разрабатывалась в среде PyCharm CE, Python. В качестве базы данных использовалось хранилище данных PostgreSQL. На рисунке 3.4 представлена схема построения словаря «визуальных слов» для системы поиска.

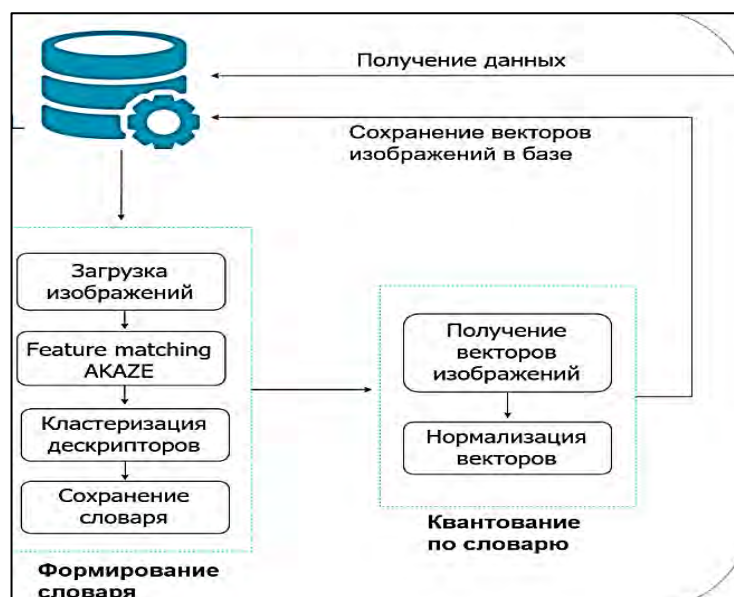


Рисунок 3.4. Построение словаря «визуальных слов» для системы поиска

Загруженные данные считываются из базы. Затем производится скачивание файлов изображений. С помощью алгоритма для поиска особых точек AKAZE и дескриптора KAZE формируются дескрипторы особых точек поверхности кефира, все дескрипторы собираются в один массив. Затем проводится их кластеризация.

Полученный словарь БД различных видов кефира хранится на серверной части в файле формата rkl. Загруженная коллекция изображений сопоставляется с полученным словарем и, таким образом, формируются новые вектора изображений. Вектора нормализуются и добавляются к записям в БД, дополняя уже ранее загруженные данные.

Поиск по коллекции изображений происходит следующим образом. Полученные с цифровой видеокамеры внешний вид и цвет изображения кефира загружаются и обрабатываются, и с помощью алгоритма AKAZE с дескриптором KAZE выделяются особые точки изображения и формируются дескрипторы. Далее, полученные дескрипторы сопоставляются по ранее созданному словарю визуальных слов. Таким образом, формируется вектор загруженного изображения-запроса.

Далее сформированный вектор изображения-запроса приводится к нормализованному виду. Затем производится поиск похожих векторов в хранилище изображений. Полученный результат из базы данных отправляется в виде JSON структуры в интеллектуальную адаптивную систему контроля и управления качеством кефира.

10) Автоматический расчет балльных оценок основных органолептических показателей качества готового кефира: внешнего вида (текстуры) и цвета.

Рассмотренная реализация подбора необходимых алгоритмов обработки и анализа изображений и расчет по изображению внешнего вида и цвета готового кефира является актуальной задачей и нуждается в проведении дополнительного исследования по выбору метода предобработки изображений различных видов кефира для исследования возможности автоматизации контроля в потоке этих показателей.

3.2.3. Выбор метода предобработки изображений различных видов кефира

Основными методами предобработки изображений являются: методы улучшения качества изображения, методы сегментации, метод анализа текстур и наборы тестовых изображений.

1. Методы улучшения качества изображений

Существуют методы уменьшения шумов, удаление артефактов, интерполяции и реформатирования, компенсации пространственных искажений, повышения контраста области интереса на изображении. Данные методы применяются, когда различия изображений видов кефира незначительны.

Обзор и анализ научной литературы по данному вопросу показал, что в случае компьютерного анализа изображения применение методов улучшения качества должно быть сведено к минимуму [90].

2. Сегментация

Данный метод эффективно используется для отделения исследуемого изображения или области интереса изображения от окружающего фона. Визуальная сегментация не всегда вызывает трудности, но автоматическое выделение исследуемых объектов на изображениях сложная задача.

Методы сегментации базируются на яркостной, градиентной и текстурной информации изображения. При этом используются такие алгоритмы, как:

- *Бинаризация по порогу*

Суть алгоритма заключается в переводе цветного изображения в черно-белое. Каждому пикселю присваивают значения либо 1, либо 0 (поэтому алгоритм называется бинаризацией). Решение о присвоении 0 или 1 выдаётся после сравнения яркости каждого пикселя с заданным порогом.

Достоинствами метода являются: уменьшение графической информации, упрощение дальнейшей обработки изображения.

Недостатки: возможные потери деталей, искажения, появление шума, возможные разрывы линий.

Одним из популярных методов бинаризации является метод Брэдли [97].

- *Морфологическая фильтрация*

Математическая морфологическая фильтрация использует язык теории множеств и представляет собой набор методов для улучшения качества изображений, прошедших бинаризацию. Морфологическая фильтрация использует набор масок, которые «скользят» по изображению и исправляют недостатки изображения после бинаризации, а именно, заливают «дырки» внутри линий, убирают пиксельный шум между линиями, делают линии более тонкими (по возможности толщиной в 1 пиксель), замыкают разорванные линии и удаляют одиночные пиксели шума.

Математическая морфология так же может быть использована для выделения контуров, остовов и выпуклых оболочек [112].

- *Наращивание областей*

Алгоритмы наращивания областей используются, если в обрабатываемом изображении есть связность внутри его сегментов. Наиболее

простым алгоритмом наращивания областей является «поточечное» наращивание [118]. Суть метода заключается в определении начального пикселя (точки) (который удовлетворяет некоторым условиям) и присоединением к нему соседних областей. Наращивание продолжается до того момента, пока критерий связности не превысит определенное значение. Например, критерием остановки может быть граница исследуемого изображения. Метод наращивания областей обычно применяют, как предварительный этап обработки графических данных, а не как самостоятельный метод сегментации [81].

- *Активные контуры*

Метод активных контуров является вариационным методом нахождения границ и имеет динамический характер. Изначально контур задаётся как обычная прямая линия, каждая точка которой имеет определенное значение «энергии», рассчитываемое по следующей формуле [129]:

$$\int \mathcal{L}(v_i) + \beta E_{ext}(v_i) \\ E_i = \alpha E_{\mathcal{L}} \quad (3.3)$$

где α и β – константы относительной коррекции энергии;

$\int \mathcal{L}(v_i) \\ E_{\mathcal{L}}$ – функция энергии, зависящая от формы контура;

$E_{ext}(v_i)$ – функция энергии, зависящая от свойств изображения и типа градиента в окрестности точки v_i .

Далее линия начинает деформироваться таким образом, чтобы для каждой точки минимизировать критерий (3.3). Именно поэтому такие линии называют кривыми минимальных энергий [113].

Недостатки метода: возможны слияния точек, что приводит к загромождению границ изображения; алгоритм может работать некорректно, если изображение и объекты на нём не имеют чётких границ.

- *Деформируемые шаблоны*

Метод основан на соответствии графических данных некоторым шаблонам, которые могут изменяться под воздействием функции внутренней энер-

гии. Имеется модель исходного объекта и входное изображение, которое задаёт силовое поле, деформирующее исходную модель. Деформируемые модели заданы не «жестко» и могут менять свою форму [23].

Данный метод похож на метод активных контуров. Шаблоны также деформируются в соответствии с энергией каждой точки, но в отличие от метода активных контуров, метод деформируемых шаблонов способен более гибко настраиваться на поиск объектов с разной структурой. Всё зависит от границ и текстуры изображений.

- *нейронные сети*

Искусственные нейронные сети (ИНС) представляют собой различные программы, работающие по принципу биологических нейронных сетей. ИНС (рисунок 3.5) обычно состоит из большого количества искусственных нейронов, представляющих собою систему простых процессоров, связанных между собой.

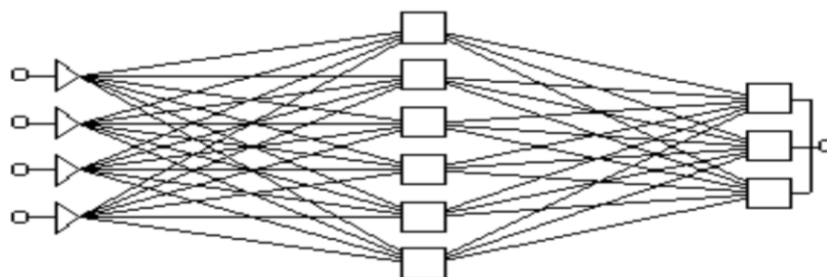


Рисунок 3.5 Схема простой искусственной нейронной сети.

Треугольниками обозначены входные нейроны, квадратами посередине – внутренние слои нейронов, квадратами справа – выходные нейроны.

Процессоры внутри сетей довольно просты и работают только с сигналами. Сам по себе одиночный процессор не представляет интереса, но все «нейроны» в совокупности способны выполнять сложные задачи. Главное отличие ИНС от обычных программируемых алгоритмов заключается в возможности обучения. После многократного прохождения через нейронную сеть большого объема типовых данных изображений, ИНС «учится» искать

закономерности в этих данных и обобщает их. Это становится возможным благодаря подбору коэффициентов связи между нейронами в процессе обучения [114].

Наиболее эффективными для распознавания цифровых изображений являются свёрточные нейронные сети (СНС), которые при решении задач сегментации используют операцию свёртки. Суть операции свёртки заключается в поэлементном умножении изображения на матрицу свёртки и суммирование результата. Далее результат записывается в аналогичную позицию выходного изображения.

Главным достоинством нейросетей такого типа является высокий результат при решении задач сегментации.

Из недостатков метода ИНС можно отметить следующее: все анализируемые изображения должны быть одного размера; процесс обучения может занять продолжительное время; для реализации настоящего процесса распознавания необходимо большое количество данных для обучения [69].

Еще одним методом предобработки изображений является количественный анализ.

3. Количественный анализ

Метод количественного анализа применяется к отсегментированным объектам различных изображений для выделения информации об их размерах, форме, текстуре, морфологии и динамики во времени.

Количество выходных признаков должно быть небольшим. И они не должны коррелировать друг с другом.

4. Совмещение

Следующим методом предобработки изображений является совмещение двух цифровых изображений одной и той же части предмета (или продукта) для последующей обработки или анализа изображений.

Снимки могут быть разной модальности (МРТ и ПЭТ) или одной модальности, но снятые в разное время. Полученная карта соответствия используется для попиксельного сравнения изображений, оценки изменения в процессе производства внешнего вида и цвета кефира.

5. Сжатие, архивирование, хранение и поиск в базах данных

Одной из самых сложных и наукоёмких задач является поиск изображений по содержанию, заданному эталонным изображением. Такую задачу помогает решить метод сжатия, архивирования, хранения и поиска в базах данных, с помощью которого происходит сравнение текущего изображения с предыдущими или похожими изображениями (снимками) из практики работы молочных предприятий, хранящимися в их цифровых архивах.

6. Визуализация и виртуальная реальность позволяет определять вид и цвет различных видов кефира с использованием наиболее эффективных для распознавания цифровых изображений свёрточных нейронных сетей.

3.2.4. Методика и алгоритмы обработки и анализа изображений внешнего вида и цвета кефира

Одним из важнейших этапов проведения анализа и обработки изображений внешнего вида и цвета кефира является визуальное обнаружение недостатков поверхности кефира на полученных с линии производства кефира снимках. Этот этап является первым шагом на пути мониторинга и автоматизации контроля этих важнейших органолептических показателей качества готового кефира.

Сложности на этом этапе возникают из-за особенностей и качества самих изображений, а также из-за ограниченности зрительной системы самого исследователя. Объекты интереса на изображениях кефира могут быть большими или малоконтрастными по сравнению с фоном.

Существует множество методов анализа и обработки изображений, каждый из которых работает лучше с теми или иными изображениями (например,

цветными или черно- белыми). Результаты работы алгоритма во многом зависят от самого исходного изображения. И одна из проблем заключается именно в выборе оптимального метода (или сочетания методов) для анализа конкретного изображения.

Обработка изображения идёт последовательно. Как уже было показано в разделе 3.2.2, каждое изображение перед анализом и обработкой проходит предобработку и фильтрацию, поскольку этот этап является очень важным и во многом определяет результат дальнейших этапов анализа и обработки исследуемых изображений. Далее, как было представлено в разделе 3.2.3., осуществляется сегментация изображения, его распознавание и диагностика.

Затем приступают к детектированию и выделению границ на изображениях, что является актуальной задачей при выборе методов анализа и обработки изображений внешнего вида и цвета кефира. С помощью метода детектирования и выделения границ на изображениях определяются точки в исследуемом цифровом изображении, где яркость резко меняется. Цель обнаружения границ в уменьшении количества данных в изображении с сохранением структурных свойств этих данных для дальнейшей их обработки.

Для изображения, представленного в градациях серого, обнаружение границы означает, что по обе её стороны уровень серого является более или менее однородным. Для зашумлённого изображения трудно детектировать края, т.к. оба края границы и шум содержат большой диапазон частот, что приводит к размытию и искажению результата [113].

Различные методы выделения границ

На рисунке 3.6. представлены различные типы детекторов границ изображений.

Для выделения границ используют различные операторы, определяющие изменения градиента уровней серого. Их можно разделить на две основные категории:



Рисунок 3.6. Типы детекторов границ изображений

1. Детекторы первого рода или операторы, основанные на градиенте - это операторы, использующие первую производную или использующие градиент изображения. Если задать входное изображение как $I(i, j)$, то градиент изображения вычисляется по формуле:

$$\nabla I(i, j) = \hat{i} \frac{\partial I(i, j)}{\partial i} + \hat{j} \frac{\partial I(i, j)}{\partial j} \quad (3.4.)$$

Где: $\frac{\partial I(i, j)}{\partial i}$ и $\frac{\partial I(i, j)}{\partial j}$ градиенты в направлении i и j соответственно.

Величина градиента может быть найдена по следующим формулам:

$$|G| = \sqrt{\left(\frac{\partial I}{\partial i}\right)^2 + \left(\frac{\partial I}{\partial j}\right)^2} \text{ или } |G| = \sqrt{|G_i|^2 + |G_j|^2} \quad (3.5)$$

$$\theta = \arctan(G_i/G_j) \quad (3.6)$$

Величина градиента показывает силу границы, а направление градиента всегда перпендикулярно направлению границы [113].

Классические операторы – это операторы Роберта, Собеля и Превитта, которые легко осуществляются, но имеют высокую чувствительность к шуму.

Оператор Роберта

Этот оператор основан на вычислении и использовании градиента. Сперва он вычисляет сумму квадратов разности между соседними пикселями по диагонали с помощью дискретной дифференциации, а затем рассчитывает приблизительный градиент изображения. Входное изображение свёртывается ядрами оператора, затем вычисляется величина и направление градиента. Оператор использует 2 ядра размерностью 2x2:

$$D_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \text{ и } D_y = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

Плюс данного оператора в его простоте. Минусами является маленькое ядро, большая чувствительность к шуму и плохая совместимость с современными технологиями [22, 23].

Оператор Собеля является дискретным, дифференцирующим оператором. Используется для вычисления аппроксимации градиента функции интенсивности изображения для обнаружения края. Для каждого пикселя изображения оператор Собеля определяет соответствующий вектор градиента или нормаль к вектору. Далее происходит свёртка входного изображения с ядром и вычисляется величина градиента и его направление. Для вычислений в операторе используются 2 ядра размерностью 3x3:

$$D_i = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ и } D_j = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

Из недостатков можно отметить большее время на вычисления, по сравнению с тем же оператором Роберта.

Достоинства метода: имеет большое ядро, что делает оператор менее восприимчивым к шуму. Из-за большой маски происходит локальное усреднение, что уменьшает ошибки от воздействия шумов [28].

Оператор Превитта использует 2 ядра размерностью 3x3 следующего вида:

$$D_i = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ и } D_j = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

Оператор Превитта имеет более высокую производительность в выделении края, чем оператор Собеля [81].

На рисунке 3.7 представлен принцип работы алгоритма для классических операторов.

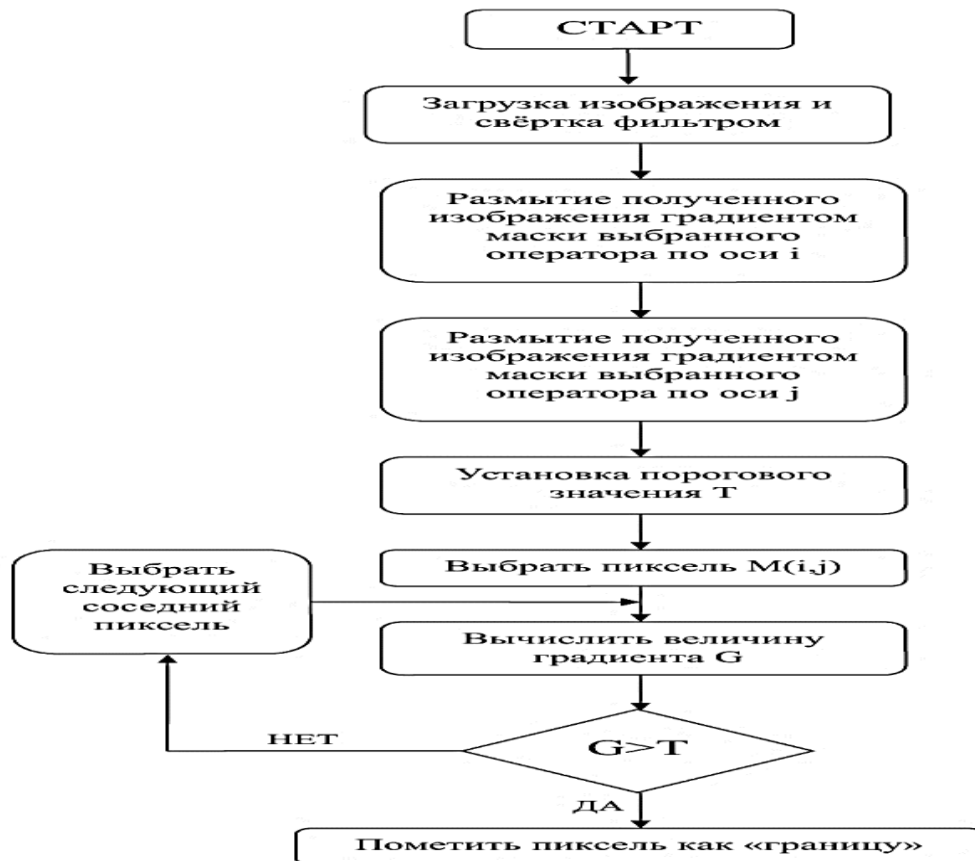


Рисунок 3.7 Принцип работы алгоритма обработки и анализа изображений для классических операторов

Детектор границ Canny

Детектор границ Canny является оптимальным методом, т.к. имеет ряд преимуществ: обеспечивает хорошее обнаружение края; имеет чёткий отклик; обеспечивает хорошую локализацию. Описание алгоритма детектора Canny представлено на рисунке 3.8. До сих пор детектор Canny превосходит многие из новых алгоритмов, которые были разработаны позже [97]. Он широко используется в современных методах обработки изображений.



Рисунок 3.8 Описание алгоритма детектора Canny

Наиболее удобен для применения в алгоритме Canny и устойчив к шумам оператор Собеля, поэтому градиент в направлении i и j определяется формулой:

$$G_i = D_i * F(i, j) \text{ и } G_j = D_j * F(i, j) \quad , \quad (3.10)$$

где G_i и G_j – градиенты в направлении i и j соответственно.

Алгоритм Canny может быть адаптирован к конкретному изображению с помощью регулирования его переменных параметров (в отличие от классических операторов, в которых ядра заданы жестко). Регулировкой таких параметров как, например, стандартное отклонение (σ) или пороговые значения фильтра (t_{low} и t_{high}) можно добиться уменьшения фильтрации Гаусса или более тонких границ соответственно. Таким образом, пользователь может улучшать работу алгоритма подгонкой параметров под конкретные графические данные.

Оператор Canny обеспечивает ориентацию градиента кромки, что приводит к хорошей локализации края, в то время как в большинстве других алгоритмах этого не предусмотрено [118].

Детекторы границ второго рода

Эти детекторы основаны на использовании второй производной ∇^2 . В таких операторах пиксель помечается как граница, если вторая производная изображения становится нулевой. Оператор Лапласа для двумерного изображения $I(i, j)$ определяется формулой (3.11):

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} I(i, j) + \frac{\partial^2}{\partial y^2} I(i, j) \quad (3.11)$$

Оператор Marr-Hildrith

До появления детектора Canny этот детектор границ был очень популярен. Этот градиентный детектор границ работает по методу нулевых пересечений: Гауссиан и Лапласиан используются вместе, т.к. производная второго порядка чувствительна к шумам. Гауссиан нужен для их ослабления, а Лапласиан детектирует края границ (метод иногда называют Лапласиан Гауссиана или LoG (от англ. Laplacian of Gaussian)).

Данный метод имеет ряд недостатков: он генерирует ответы, которые не соответствуют краям, так называемые "ложные ребра". Также возможны ошибки локализации, довольно серьёзные при работе с изогнутыми краями. Т.к. производная второго порядка выступает как высокочастотный фильтр, данный метод также не применим в зашумлённой обстановке [129].

Метод нечёткой логики (Fuzzy logic)

Fuzzy logic работает с вычислениями на основе «степени истины», а не дискретных значений, таких как 0 или 1. В Fuzzy обработка изображений представляет собой набор различных подходов к обработке, таких как фазификация (приведение к нечёткости) изображения, изменение функции принадлежности и fuzzy дефазификация (приведение к чёткости) [112].

Общая структура Fuzzy обработки изображения представлена на рисунке 3.9.

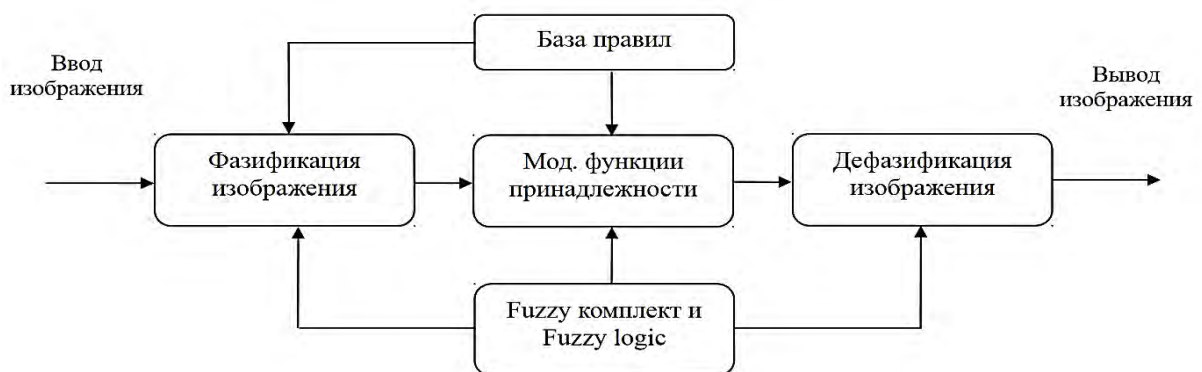


Рисунок 3.9 Общая структура Fuzzy обработки изображения

Кодирование данных изображения, т.е. их фазификация и декодирование результата позволяют обрабатывать изображение Fuzzy методами. Основная сила Fuzzy метода обработки заключается в функции модификации принадлежности. Функция принадлежности может принимать любые значения в интервале $[0,1]$, нечёткая логика даёт степень принадлежности к некоторому нечёткому множеству в случае нахождения границ, определяет степень принадлежности пикселя к краю.

Достоинства метода: подходит для использования в качестве фильтра, для улучшения таких алгоритмов как, например, алгоритм Собеля. Подходит для гибридизации с другими методами для улучшения качества (усиления границ и подавления ложных пикселей) работы последних. [97, 101].

Вейвлетные (Wavelet Based) детекторы границ

Вейвлетные детекторы границ основаны на применении вейвлетов (математические функции, работающие с частотными компонентами данных) и вейвлет-преобразований (в общем случае представляют операцию свёртки данных с выбранной вейвлет-функцией).

Вейвлет функции обычно используют для сжатия и архивации изображений, но они могут использоваться в качестве фильтра в паре с другим алгоритмом выделения границ для повышения качества выходного изображения [83].

Вейвлет методы детектирования были ранее популярны из-за возможности применения мультимасштабного фильтра для нахождения границ. Но такие детекторы имеют ряд ограничений. Основной их недостаток в сложности реализации и подстройки [90, 97].

Гибридные детекторы границ

Гибридный метод использует нечёткую логику (Fuzzy logic) в сочетании с теорией вейвлетов для детектирования границ. С помощью такой гибридизации реализуется мультимасштабное детектирование границ вейвлетным преобразованием, а также убирается его неотъемлемое ограничение – плохая чувствительность направления границы с использованием нечёткой логики.

Использование нечёткой логики помогает отфильтровать шумы и снизить частоту ложных обнаружений. Таким образом, гибридный детектор краёв имеет возможность обнаруживать края в произвольных направлениях, при этом сохраняя больше деталей на изображении и устойчивость к шуму. Принцип работы гибридного детектора границ представлен на рисунке 3.10. Направления краевых точек определяются процессом фазификации.



Рисунок 3.10 Принцип работы гибридного детектора границ

Нечёткое правило “if-then” применяется к изображению в градациях серого для нахождения краевых точек вдоль горизонтальных, вертикальных и диагональных направлений. Процесс фазификации сопровождается вейвлет преобразованием.

Фазифицированное изображение проходит вейвлет преобразование для выделения края. Следующим шагом является избавление от шумов и ложных границ, обнаруженных на предыдущих шагах. Маска размером 3х3 пропускается через полученное изображение. Этот процесс продолжается до полного сканирования всего изображения. После сканирования ложные краевые пиксели удаляются, и мы получаем изображение границ объекта [112].

Морфологическая водораздельная трансформация (метод водораздела)

Метод водораздела является частным случаем метода активных контуров. Достоинство данного метода в хорошем обеспечении формирования контуров замкнутых объектов и их идентификации.

Активные контуры широко используются в обработке изображений, т.к. дают неплохой сглаживающий эффект, уменьшающий дискретность изображения и шум. Метод водораздела может выделять уникальные границы на изображении или на нескольких изображениях. Однако, он не обеспечивает сглаживания и «обобщения». Для исправления этого недостатка метод объединяют с морфологическими операторами и масками, подавляющими шум [28].

Морфологические операторы работают со структурными элементами входного изображения и на выходе выдают изображение того же размера. Все морфологические операции основываются на двух принципах, называемых *fit* и *hit*. *Fit* означает такие условия, при которых все пиксели структурного элемента покрывают пиксели изображения, а *hit* это условия, при которых любой из пикселей структурного элемента покрывает пиксель в изображении [83]. Основными морфологическими операторами являются:

- Растяжение

Растяжение добавляет пиксели к границам объектов на изображении. Оно может быть использовано для «ремонта» разрывов, т.е. используется для увеличения объекта.

- Размытие

Размытие удаляет пиксели на границах объектов в изображении. Это может быть использовано для разделения на части соединенных объектов или стирания экструзии, т.е. он используется для сжатия объектов.

- Открытие

Открытие используют для устранения выступающих частей изображения и смягчения контуров.

- Закрытие

Закрытие используют для фьюзинга узких разрывов и длинных тонких заливов, устранения небольших отверстий, заполнения пробелов в контуре и сглаживания контуров.

• Реконструкция

Реконструкция включает в себя два изображения и структурный элемент (вместо одного изображения и структурного элемента).

Морфологическая реконструкция используется для улучшения процедуры открытия и для восстановления исходных форм объектов после размывания.

Преимущества метода водораздела: результаты связывают области с прилегающими границами, делая их один пиксель в ширину, в отличие от традиционных подходов детектирования границ, генерирующих разомкнутые контуры; область контуров хорошо «прилипает» к границам реальных объектов.

Недостатки метода: чувствителен к шуму, поэтому может выдавать ложные границы, не очень хорош в обнаружении тонких структур и низкоконтрастных областей [113].

Модель 25-ти соседей (TFNCA)

Модель 25-ти соседей или расширенные соседи Мура - это матрица 5x5, которая используется для изменения состояния изображения путём сравнения различий между центральным пикселем и соседями.

Потоковая схема алгоритма TFNCA представлена на рисунке 3.11. Данный алгоритм отличается простотой, является популярным для моделирования сложных систем и подходит для эффективного детектирования границ [118]. Для модели TFNCA существует 225 линейных правил, которые можно реализовать всеми возможными операторами. Из них можно выделить правила для детектирования границ с нулевыми начальными условиями. В такой «соседской» структуре следующее состояние каждой «клетки» зависит от её текущего состояния и от состояния окружающих её двадцати четырёх соседей.



Рисунок 3.11 Потокоская схема алгоритма TFNCA

Каждая клетка-сосед содержит основное правило, а все другие линейные правила являются производными, выражающимися в виде сумм основных правил. Но для детектирования границ подходят не все. Нужно подбирать оптимальные правила для улучшения результатов детектирования [129].

Из достоинств метода можно отметить простоту и относительную быстроту вычислений. Недостатком же является огромный объём «лишних» правил, которые не подходят для детектирования границ. Для каждого типа изображений нужно подбирать свои правила и финальный результат во многом зависит от правильности такого подбора.

3.2.5. Разработка программного комплекса для обработки изображений внешнего вида и цвета кефира

Для обработки изображений различных видов кефира (рис. 2.2) были использованы методы математической статистики, методы системного анализа и компьютерного моделирования.

В качестве языка программирования был выбран высокоуровневый язык программирования Python, т.к. он: легок в установке; не требует много места

на жестком диске; все компоненты необходимые для работы распространяются бесплатно.

Для исследования и оценки качества работы программы использовались обезличенные изображения поверхности кефира.

Изображения в количестве 26 штук представляют различные виды кефира (обезжиренный - 0,1%; нежирный - 0,3; 0,5; 1,0%; маложирный - 1,2; 1,5; 2,0; 2,5%; классический - 2,7; 3,0; 3,2; 3,5; 4,0; 4,5%; жирный - 4,7; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5; 7,0% и высокожирный - 7,2; 7,5; 8,0; 8,5; 9,0; 9,5%).

Программный комплекс контроля внешнего вида и цвета кефира включает: 1) Детекторы границ:

- На основе метода оконтуривания Canny
- На основе метода оконтуривания Sobel
- На основе метода оконтуривания LoG

2) Средства предварительной обработки изображений:

- Работа с яркостью и контрастностью
- Изменение цветовой схемы
- Наложение и сглаживание шумов
- Обрезание изображений
- Изменение форматов изображения

3) Средства контроля качества оконтуривания и вспомогательные математические функции:

- Функция подсчёта количества пикселей в границе
- Расчёт среднеквадратической ошибки определения контура (MSE)
- Расчёт индекса структурного сходства (SSIM)
- Расчёт относительного числа потерянных пикселей при оконтуривании

4) Функция наложения оконтуренного изображения на исходное.

Данный функционал позволяет проводить предобработку изображений, оконтуривать их несколькими способами, контролировать качество оконтуривания и выявлять наиболее подходящий способ для конкретных видов изображений кефира.

После оконтуривания происходит наложение контура на исходное изображение, что позволяет облегчить визуальное выделение границ областей интереса на изображениях кефира и уменьшить время на их обработку, тем самым повысить эффективность работы программного комплекса.

В качестве критериев для оценки качества оконтуривания внешнего вида готового кефира на изображениях были выбраны следующие характеристики:

- Оценка количества потерянных пикселей в контуре.
- Устойчивость методов оконтуривания к шумам.
- Среднеквадратическая ошибка нахождения контура (MSE).
- Индекс структурного сходства (SSIM).

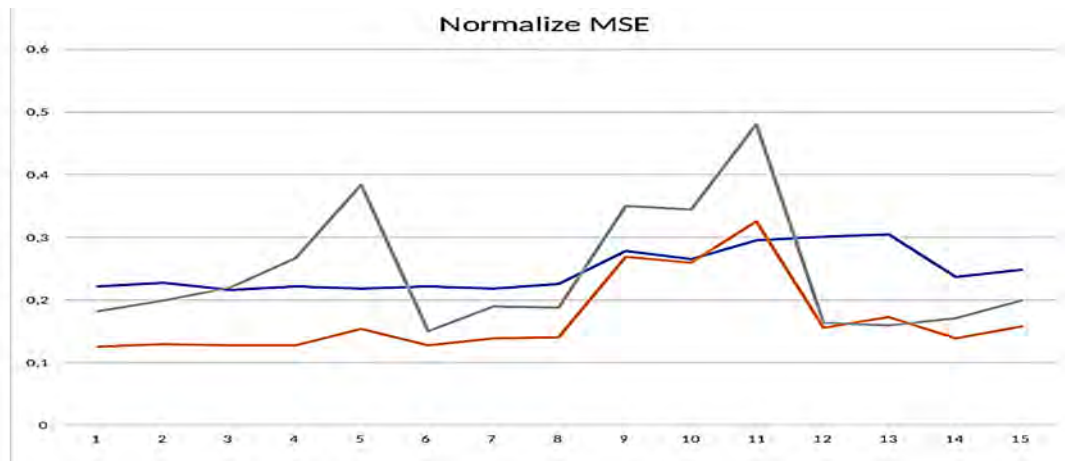
Оценка количества потерянных пикселей в контуре представляет собой сравнение количества пикселей, принадлежащих эталонному оконтуренному изображению кефира определенной жирности с количеством пикселей в контурах изображений, оконтуренных при помощи программного комплекса с использованием представленных методов оконтуривания.

Под устойчивостью методов оконтуривания к шумам понимается количество потерянных пикселей контура при наложении на исходное изображение шумов.

Для тестирования накладывался гауссов шум с различным коэффициентом α , имитируя слабое и сильное зашумление.

Оценка среднеквадратической ошибки производилась попиксельно между эталонными оконтуренными изображениями поверхности разных видов кефира и оконтуренными изображениями, полученными программным комплексом с использованием выбранных методов оконтуривания.

Также использовалась нормализованная среднеквадратическая ошибка, т.е. ошибка, деленная на количество пикселей в контуре. Результаты проведенных исследований представлены на рисунке 3.12.



— Canny; — - Sobel ; — - Laplas

Рисунок 3.12 Нормализованная среднеквадратическая ошибка

Как можно увидеть из графика 3.12, кривая ошибки метода Canny более пологая и имеет наибольший коэффициент сходства. Для всех групп изображений кефира ошибка не превышает $0,3 \pm 0,05$. Методы Sobel и Laplas дают наихудший результат.

Но среднеквадратической ошибки недостаточно для оценки качества оконтуривания, поэтому дополнительно рассчитывался индекс структурного сходства.

Индекс структурного сходства

Для вычисления индекса структурного сходства использовались математические пакеты NumPy и Pandas для языка программирования Python. Индекс структурного сходства показывает, насколько изображения соответствуют друг другу по шкале от -1 до +1.

Индекс структурного сходства сравнивал небольшие фрагменты изображения (обычно 8x8 пикселей). Данный метод оценки позволял учитывать «восприятие ошибки», благодаря учёту структурного изменения информации.

SSIM-индекс определялся по формуле [97]:

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)} \quad (3.12)$$

Результаты проведенных исследований представлены на рисунке 3.13.

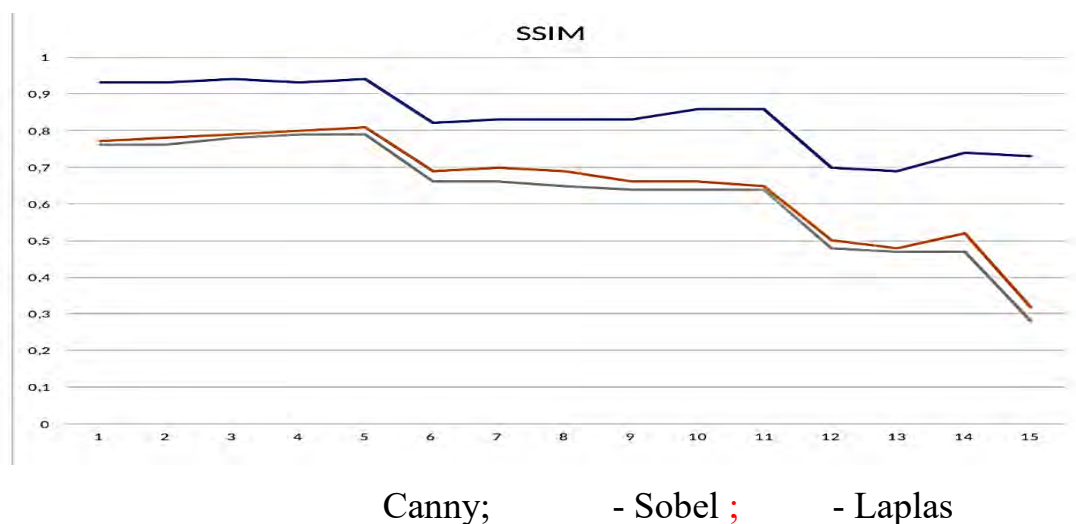


Рисунок 3.13 Индекс структурного сходства контрольной группы изображений кефира

Как видно из графиков 3.13 наибольший коэффициент сходства наблюдается при использовании детектора на основе метода Canny. Методы Sobel и LoG дают наихудший результат при работе над группой изображений поверхности 1% кефира.

В результате проведенных исследований был разработан программный комплекс для первичной обработки, оконтуривания и контроля качества обработки первичных графических данных различных видов кефира.

Полученные результаты позволяют повысить качество обработки изображений внешнего вида и цвета различных типов кефира, снизить время на обработку отдельного изображения и частично автоматизировать оконтуривание и выделение объектов различных видов кефира. Тем самым повышается общая эффективность мониторинга и контроля важнейших органолептических показателей кефира – его внешнего вида и цвета.

Оценка количества потерянных пикселей в контуре и устойчивость к шумам

После проверки методов на устойчивость к шумам были получены следующие графики (рисунки 3.14 – 3.16):

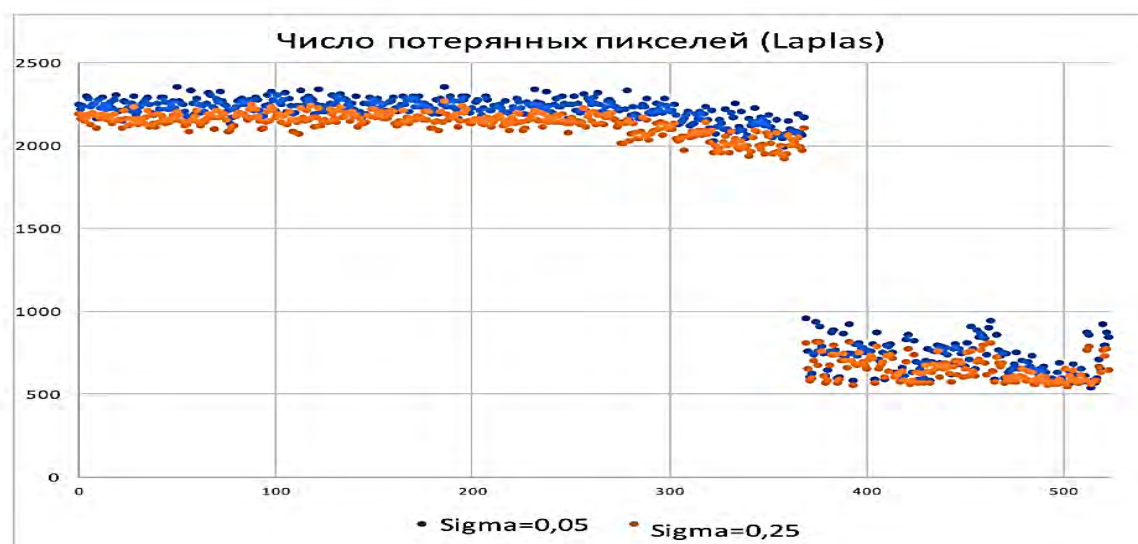


Рисунок 3.14 Проверка метода LoG на устойчивость к шумам

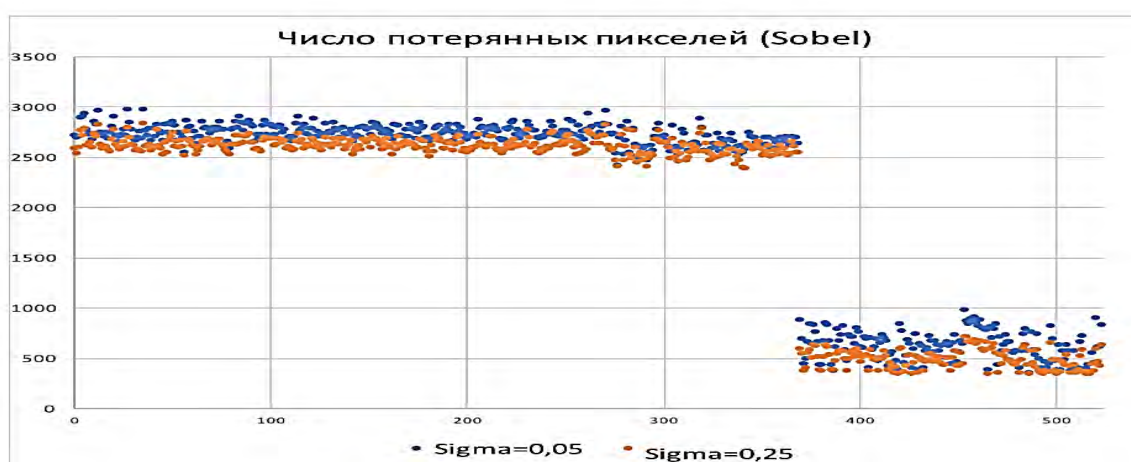


Рисунок 3.15 Проверка метода Sobel на устойчивость к шумам



Рисунок 3.16 Проверка метода Canny на устойчивость к шумам

Анализ полученных результатов приведен в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Проверка различных методов на устойчивость к шумам

№ класса	CANNY	SOBEL	LAPLAS
1	1.20%	16.49%	14.22%
2	0.49%	16.34%	16.26%
3	0.37%	16.26%	17.02%
4	1.46%	5.07%	8.18%
5	1.62%	5.22%	8.10%

На основании проведённых тестов и анализа полученных результатов был сделан вывод, что наиболее привлекательными являются детекторы границ на основе метода Canny, т.к. они показывают наибольшую шумоустойчивость, точность локализации и передачи границ.

3.2.6. Модуль (программно- аппаратный комплекс) автоматического контроля внешнего вида и цвета кефира

Программно- аппаратный комплекс (ПАК) автоматического контроля внешнего вида и цвета интеллектуальной автоматизированной системы показан на рисунке 3.17.

Информация об изменении цвета визуальных характеристик $Y(t)$ кефира фиксируется цифровой видеокамерой (ЦВК) в момент времени t_n и передается на вход комплексного интеллектуального модуля сбора данных, системы обработки, хранения и принятия решений ИАСКиУ качеством кефира.

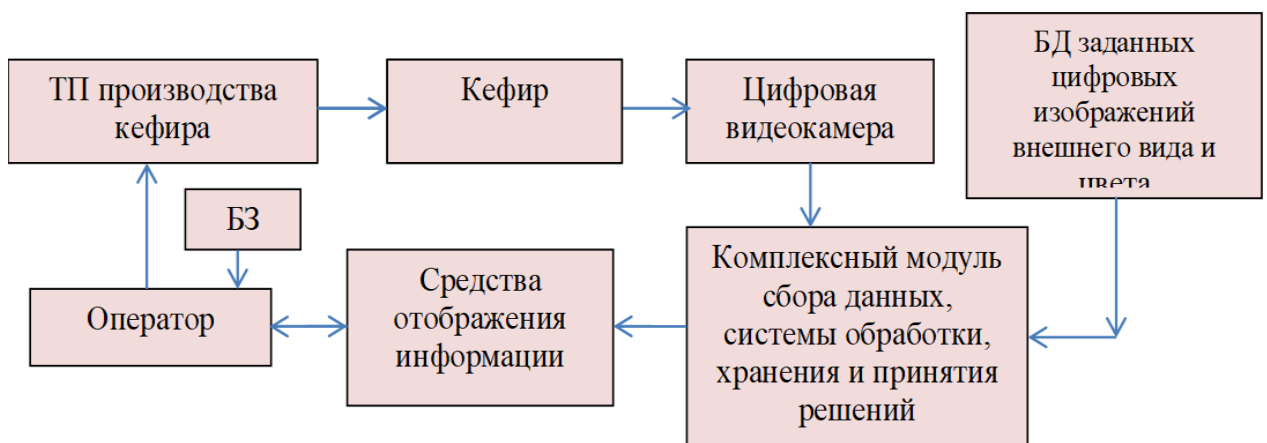


Рисунок 3.17 Структура программно- аппаратного комплекса автоматического контроля внешнего вида и цвета кефира

Частота обновления изображений может быть от 30 Гц до 100 кГц. Следовательно, время обновлений t_k может достигать от 10 мкс. до 30 мс. Это зависит от типа выбранной камеры.

От количества критичных точек отслеживаемого изображения зависит длительность расчета изменений характеристик τ_a . Следовательно, информация о характеристиках объекта, полученная в результате обработки данных будет иметь временную задержку $t_n + \tau_a$, (временная задержка возникает в связи с дискретной скоростью передачи данных и проведением математического анализа, полученного изображения).

В комплексном интеллектуальном модуле проводятся следующие операции: обработка видеок кадров, поступающих на вход системы; анализ полученных изображений путем сравнения видеок кадра ЦВК с эталонным кадром-здатчиком, поступающим из БД заданных цифровых изображений внешнего вида и цвета кефира; определение соответствия текущего состояния эталонному значению (заданному значению); передача полученного результата на средство отображения информации; передача результата оператору и принятие решения о необходимом воздействии на ТП производства кефира с привлечением разработанной базы знаний (БЗ).

Модуль автоматического контроля внешнего вида и цвета кефира интеллектуальной адаптивной системы контроля и управления качеством этого продукта с установленной программой обработки видеок кадров (например, ПП Matlab, взаимодействующий в режиме реального времени с VisualC++, Visual BASIC, Java), оценивает внешний вид и цвет исследуемых масс, что позволяет судить об этих важнейших органолептических показателей качества готового кефира.

3.2.7 Блок - схема алгоритма принятия решения на соответствие внешнего вида и цвета кефира эталонному значению

На рисунке 3.18 представлена блок - схема алгоритма принятия решения на соответствие внешнего вида и цвета кефира эталонному значению.



Рисунок 3.18. Блок - схема алгоритма принятия решения на соответствие внешнего вида и цвета кефира эталонному значению

До включения данного модуля в интеллектуальную адаптивную систему контроля качества и управления качеством кефира необходимо подготовить эталонные изображения внешнего вида и цвета разных видов кефира. Такие изображения будут храниться в базе знаний (БЗ) данной системы (рис. 3.17). Из произведенной с помощью ЦВК видеозаписи выбирается видеокادر, который математически обрабатывается и определяется необходимое эталонное значение внешнего вида и цвета кефира исследуемого вида. Полученная информация заносится в базу знаний (БЗ).

Во время рабочего режима после поступления информации с ЦВК каждый кадр проводимой видеосъемки, если имеется необходимость, может быть подвергнут математической обработке (описанной выше), с целью повышения четкости изображения границ визуальных объектов. Анализируется внешний вид и цветовая гамма кефира, поэтому изображение объема перерабатываемой информации переводится на цветное.

Для уменьшения объема обрабатываемой информации из матрицы изображения выделяется область, содержащая необходимое изображение объекта управления – линии производства кефира. В данном алгоритме выделяется

изображение участка производства готового кефира. После этого определяются все векторы, содержащие непересекающиеся границы объектов, найденных на изображении. Из этих векторов выделяется вектор границ кефира и формируется бинарное изображение на заданном интервале от x_1 до x_2 , из которого вычитается полученное подобным образом эталонное изображение внешнего вида и цвета кефира определенного вида. Если имеется отклонение больше нормы, то на дисплее отражаются результаты контроля и из БЗ для оператора появляется необходимая инструкция действия. Если отклонение цвета равно нулю, то никаких действий не происходит. После этого интеллектуальная СКЗ ожидает поступление следующей порции информации.

Поскольку известна информация об эталонном внешнем виде и цвете кефира разного вида при производстве этой продукции, то при четком выполнении технологических операций и соблюдении всех рецептурных компонентов возможно выдвинуть гипотезу: внешний вид и цвет кефира при соблюдении всех требований, предъявляемых к процессу, будет соответствовать эталонному значению этого вида продукции. Если же продукт не соответствует установленным нормам по внешнему виду и цвету, то его необходимо забраковать.

Подробно все эти исследования приведены в наших работах [12, 36, 39, 40, 43]

3.3. Автоматизация контроля в потоке вкуса кефира

В ГОСТ 52093 - 2003 «Кефир. Технические условия» одним из наиболее важных органолептических показателей качества, который необходимо контролировать на каждой стадии производства кефира, является вкус.

Проведенный в 1 главе (раздел 1.7) и в 3 главе (разделе 3.1.) обзор и анализ возможности использования интеллектуальных технологий для автоматизации контроля вкуса кефира показал наибольшую эффективность применения для этих целей нейросетевых технологий (НТ), которые уже успешно были использованы для автоматизации контроля вкуса кондитерских изделий [14, 87].

Ключевым инструментом здесь являются искусственные нейронные сети, реализуемые на основе специализированных пакетов программ [114].

Для реализации данной проблемы необходимо построить нейросетевую модель со структурой, ориентированной на решение данной задачи, используя специальную систему связей нейронов, определенный вид передаточной функции, специально подобранные и динамически уточняемые веса [122].

3.3.1. Нейросетевая модель контроля вкуса кефира

Параметрическую модель системы автоматического контроля (АК) вкуса кефира можно представить в следующем виде (рисунок 3.19) [14]:



Рисунок 3.19 Параметрическая модель системы АК вкуса

$\bar{X}_{tec}$ – входной вектор, характеризующий значения параметров технологического процесса, измеренных в ходе производства кефира;

$\bar{X}_{lab}$ – входной вектор, характеризующий значения показателей качества сырья и полуфабрикатов, измеренных лабораториями в ходе производства кефира;

$\bar{X}_{qual}$ – входной вектор, характеризующий исходные показатели качества сырья и полуфабрикатов, определенные в процессе входного контроля.

Зависимость входных и выходных параметров можно описать следующим уравнением:

$$\bar{Y} = F(\bar{X}_{tec}, \bar{X}_{lab}, \bar{X}_{qual}) \quad (3.13)$$

Параметр $\bar{X}_{qual}$, как и другие, влияет на вкус готового изделия, но формируется до начала изготовления изделия и во время технологического процесса остается неизменным. Вследствие этого уравнение (3.13) можно свести к виду:

$$\bar{Y} = F(\bar{X}_{tec}, \bar{X}_{lab}) \quad (3.14)$$

при условии, что исходные компоненты (сырье и закваска), используемые в производстве кефира, прошли входной контроль и признаны пригодными для дальнейшего применения. Такую зависимость (3.14) можно назвать обобщенной математической моделью, описывающей зависимость вкуса готового кефира от параметров, значения которых определяют поведение процессов, происходящих во время производства кефира.

3.3.2. Основные этапы решения задачи построения виртуального датчика автоматического контроля в потоке вкуса кефира

Решение задачи построения виртуального датчика автоматического контроля вкуса кефира на основе НСТ и интеграции его в ИАСКиУ КК в общем случае состоит из этапов, представленных на рисунке 3.20 [5].

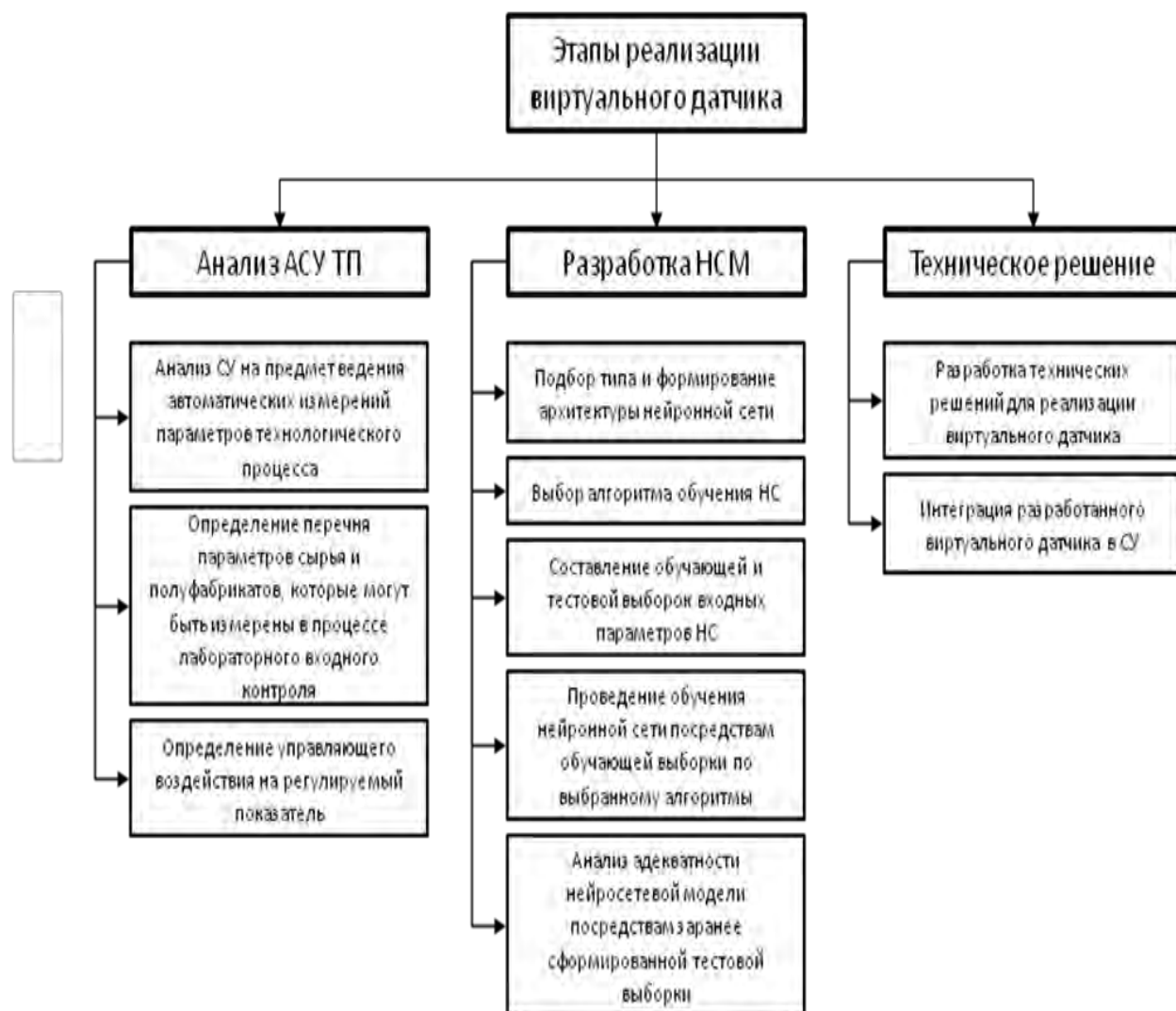


Рисунок 3.20 Этапы построения виртуального датчика автоматического контроля вкуса кефира

Как видно из рисунка 3.20, решение поставленной в рамках работы задачи состоит из 3 основных этапов:

- Анализ существующей на предприятии АСУ ТП и выявление параметров, характеризующих ход ТП производства кефира (в 1 главе были выявлены параметры, характеризующие ход ТП производства кефира).
- Разработка нейросетевой модели.
- Техническое решение, которое заключается в практической реализации виртуального датчика на доступных средствах автоматизации и интеграции его в ИАСКиУ КК, а также в существующую на предприятии АСУП.

Искусственные НС [19, 25, 30, 42, 55, 114, 115] различаются друг от друга своей архитектурой, а именно: структурой связи между нейронами; числом слоев; функцией активации нейронов; алгоритмом обучения.

Анализ работ в этой области [25, 30, 42, 55, 86, 105, 108] показал, что по способу взаимосвязи нейронов, а также по количеству скрытых слоев выделяют следующие виды НС: сети прямого распространения; рекуррентные сети; сети с обратными связями; однослойные сети и многослойные сети.

Для разработки нейросетевой модели был осуществлен выбор наиболее подходящего типа НС для решения задачи АК вкуса готового кефира, а также представлена оптимальная архитектура НС. В процессе разработки осуществлялась подборка числа слоев сети, количество нейронов в каждом слое и устанавливались связи между нейронами. Проведенные экспериментальные исследования, подробно описанные в наших статьях [7, 8, 13, 17, 18, 35] показали перспективность применения для решения задачи автоматизации контроля вкуса кефира многослойных НС прямого распространения, типа многослойный персептрон. Сеть, такого типа имеет структуру, показанную на рисунке 3.21, и является наиболее распространенной для решения задач классификации [35, 122].

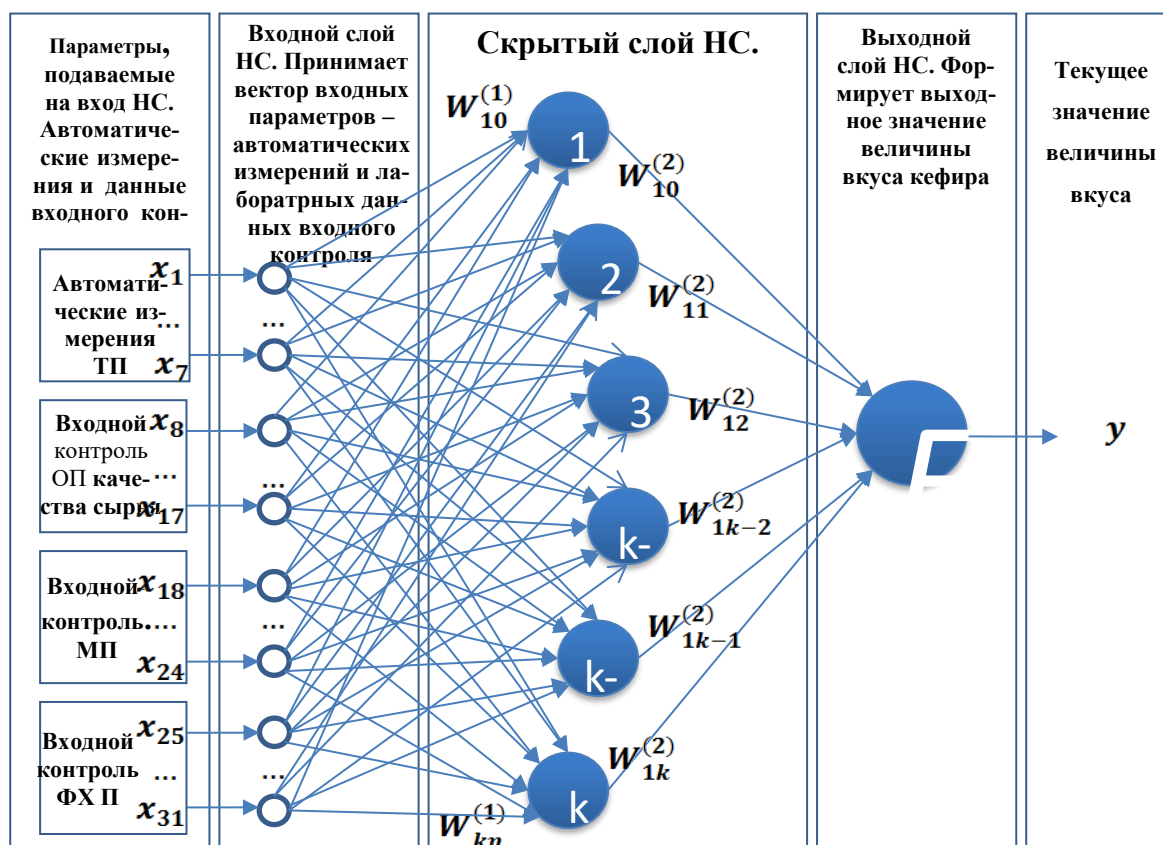


Рисунок 3.21 Структура сети, типа многослойный персептрон

Использование НС с обратными связями для решения задачи контроля вкуса было принято не целесообразным, так как сети такого типа могут быть иметь очень сложную динамику поведения и, вследствие этого, их работа может быть неустойчивой при подаче на них входных выборок.

Проведенные исследования также показали, что для решения АК вкуса кефира, оптимальной архитектурой сети будет являться гибридная сеть, сочетающая в себе организацию связей между нейронами как в многослойном персептроне с значениями выходного слоя, выраженными нечеткими правилами, что позволяет получить результат о принадлежности вкуса исследуемого кефира к критериям, по которым осуществляется оценка.

После подбора архитектуры сети было определено количество скрытых слоев и количество нейронов каждого слоя, способствующее получению оптимального результата, то есть наименьшей ошибки во время функционирования НС.

Количество скрытых слоев для сети типа многослойный персептрон определялось экспериментальным путем в среде «Matlab» при проведении обучения [7, 8, 35, 123, 124]. В процессе экспериментов были рассмотрены следующие структуры НС: сеть с одним скрытым слоем (расходящаяся сеть), сеть с двумя скрытыми слоями (расходящаяся сеть), сеть с тремя скрытыми слоями (расходящаяся сеть), сеть с одним скрытым слоем (сходящаяся сеть), сеть с двумя скрытыми слоями (сходящаяся сеть), сеть с тремя скрытыми слоями (сходящаяся сеть).

В качестве алгоритма обучения сети был выбран градиентный метод обратного распространения ошибки, который является одним из наиболее эффективных методов обучения многослойных нейронных сетей. Суть данного алгоритма состоит в том, что после предъявления НС каждой обучающей выборки происходит уточнение весовых коэффициентов сети. Цель обучения состоит в том, чтобы определить значения весовых коэффициентов для каждого слоя сети таким образом, чтобы при заранее определенном входном векторе получить выходное значение y , с заданной точностью совпадающее с ожидаемым.

На рисунке 3.22 показано, как проходил процесс обучения нейросети. На вход НС подавалась из БД одинаковая обучающая выборка основных параметров, характеризующих ход ТП производства кефира.

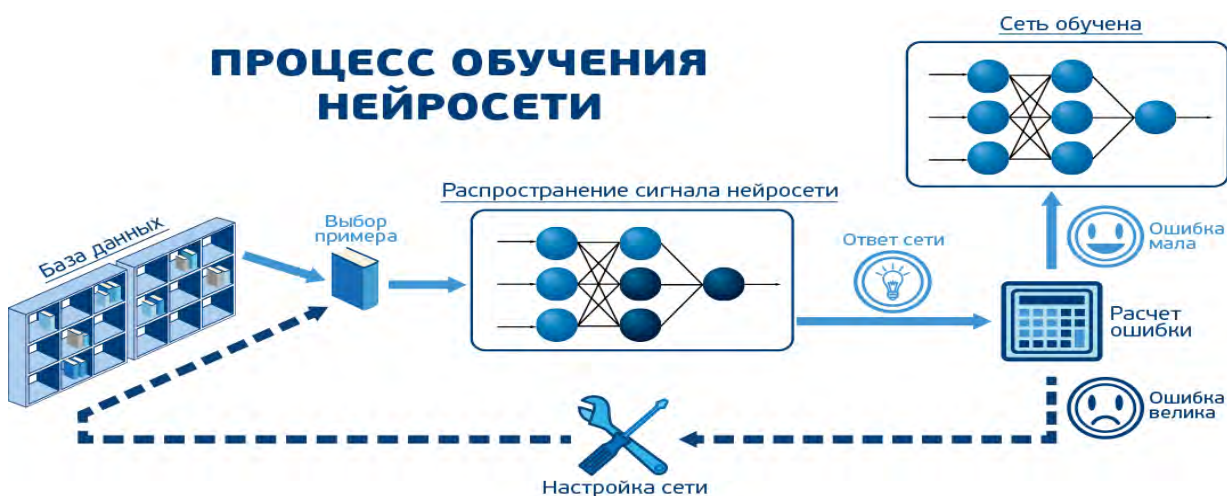


Рисунок 3.22 Обучение нейросети

По мере процесса обучения, который происходит по выбранному алгоритму, на протяжении работы сети минимизируется ошибка обучения.

Результаты, выдаваемые НСМ в рабочем режиме были проверены, для чего параллельно с обучением нейросети проводили органолептический контроль вкуса той же выборки данных дегустационной комиссией, которая определяла балл вкуса кефира по балльной шкале. Балльная шкала, принятая в молочном производстве и представленная в таблице 3.2, служила для количественной оценки уровня вкуса готового кефира.

Таблица 3.2

Шкала органолептической оценки качества кефира

Сводная органолептическая оценка	Балл
Превосходно v_{i1}	10
Отлично (прекрасно) v_{i2}	9
Очень хорошо v_{i3}	8
Хорошо v_{i4}	7
Нормально v_{i5}	6
Удовлетворительно v_{i6}	5
Не очень нравится v_{i7}	4
Плохо v_{i8}	3
Очень плохо v_{i9}	2
Не приемлемо (брак) v_{i10}	1

С использованием метода К-средних (K-means) были определены такие координаты центров кластеров, $v = (v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, \dots)$, которые обеспечивали по формуле 3.13 минимум следующего критерия:

$$\sum_{i=1}^{10} \sum_{k=1}^n \|z_k - v_i\|^2 \rightarrow \min \quad (3.13)$$

Результаты расчетов были получены с помощью ППП Matlab [26, 86] и приведены в таблице 3.3:

Таблица 3.3

Название	Показатели вкуса									
	v_{i1}	v_{i2}	v_{i3}	v_{i4}	v_{i5}	v_{i6}	v_{i7}	v_{i8}	v_{i9}	v_{i10}
Годен	6	5	1	3	1	8	2	10	7	8
Усл. годен	5	1	2	9	3	7	4	7	3	6
Брак	3	3	2	7	5	1	4	2	2	1

В результате проверки было выяснено, способна ли спроектированная НСМ обобщать полученные знания о вкусе исследуемой партии готового кефира. Если ошибка сети была существенна, корректировка весовых коэффициентов продолжалась, в противном случае – сеть считалась обученной.

После проведения обучения сети была произведена оценка работоспособности НСМ, путем подачи на вход сети тестовой выборки с целью определения соответствия результатов работы НС заданной точности. Предел допустимой погрешности работы нейросетевой модели был выбран равным 1,5%.

При отклонении параметра, характеризующего вкус кефира, от эталонного значения, происходило изменение уставки корректирующего параметра в пределах допустимого диапазона.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что на способность нейронной сети предсказывать значения вкуса готового кефира разных типов большое влияние оказывает структура НС и выборка входных параметров, которые были использованы для ее обучения. Нейрон каждый раз получал информацию о том, какой выходной сигнал от него ожидают. Затем производили обучения нейронной сети по выбранному алгоритму.

3.3.3. Модуль автоматического контроля в потоке вкуса кефира

По результатам проведенных исследований был разработан модуль автоматического контроля в потоке вкуса кефира (программно- аппаратный комплекс). Обобщенный алгоритм работы ПАК представлен на рисунке 3.23.

Контроллер получает данные о ходе ТП с имеющихся на линии производства кефира первичных преобразователей, а также данные показателей качества поступающего сырья, полуфабрикатов и готовой продукции, получаемые сотрудниками лабораторий вручную и введенные оператором- технологом. Эти данные представляют собой физико-химические и реологические параметры сырья, полуфабрикатов и готового продукта.

Далее происходит структурирование полученных от контроллера данных и начинается режим обучения и настройки системы. В результате мы получаем данные о вкусе исследуемого продукта.

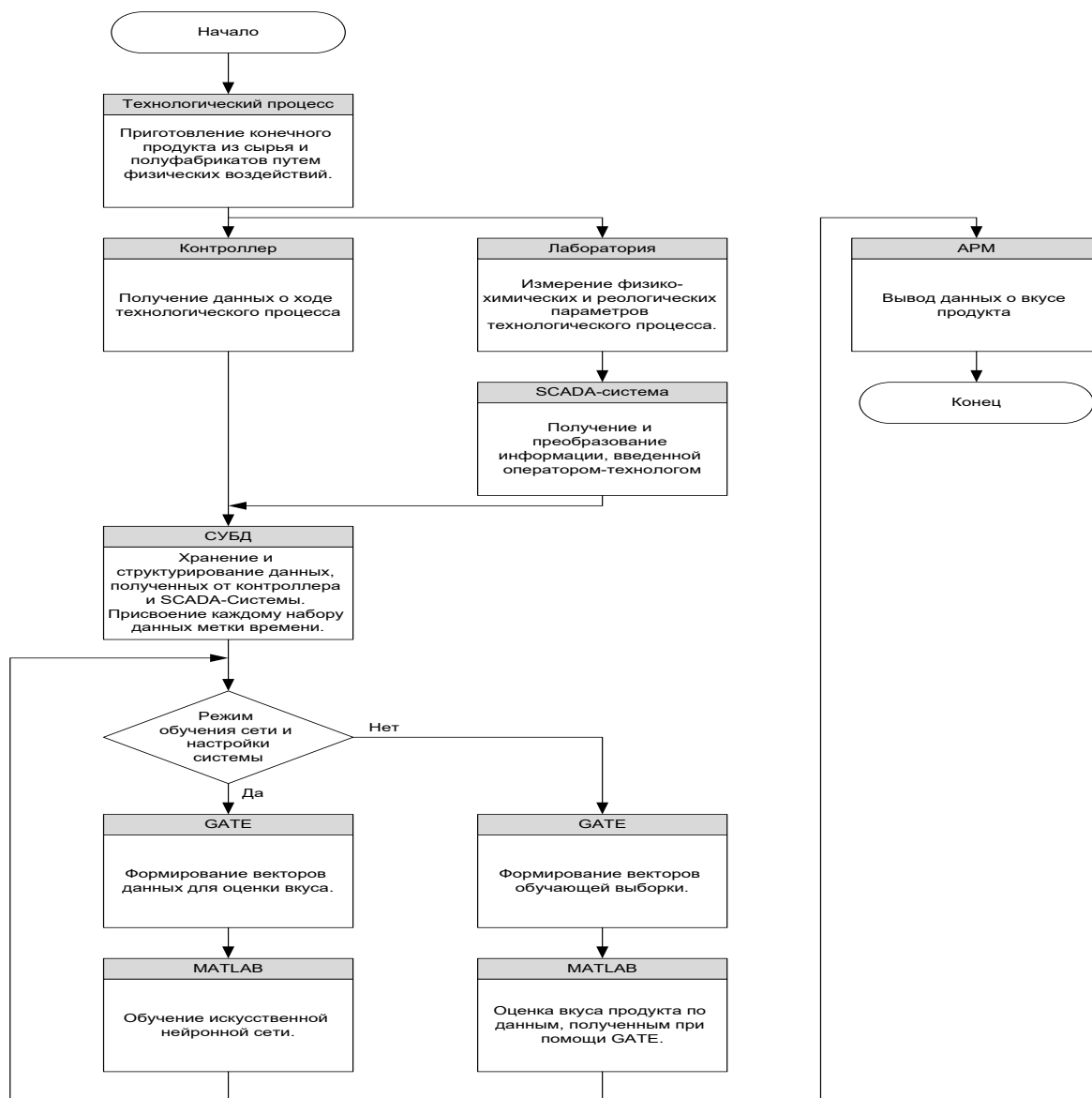


Рисунок 3.23 Обобщенный алгоритм работы модуля АК вкуса кефира

Модуль автоматического контроля вкуса кефира является программно-аппаратным комплексом, получающим информацию со всех стадий ТП производства кефира с заданной дискретностью. Для реализации модуля автоматического контроля вкуса готового кефира использовалась SCADA-система, являющаяся инструментальной программой, обеспечивающей программную реализацию автоматизации контроля и управления ТП в режиме реального времени.

Разработанный модуль является одним из основных элементов интеллектуальной адаптивной системы контроля и управления качеством кефира и подробно описан в наших статьях [7, 8, 13, 17, 18, 35, 37].

3.4. Разработка устройства для автоматического контроля в потоке вязкости кефира

Как было показано в 1 главе (п. 1.6), еще одним важным органолептическим показателем качества, который необходимо контролировать на каждой стадии производства кефира является консистенция, характеризующая реологические свойства выпускаемого продукта (данный показатель также включен как обязательный в ГОСТ 52093 - 2003 «Кефир. Технические условия»).

От величины этого показателя в значительной степени зависит качество готового кефира. При отклонении значения консистенции от нормы изменяются реологические свойства продукта, в частности, его вязкость, тесно связанная с консистенцией и влияющая на товарный вид готового кефира.

Проведенный нами обзор и анализ работ, посвященных этой проблеме [9, 10, 24, 27, 29, 33], показал, что наиболее полно состояние ТП приготовления кефира на всех этапах отражает вязкость, которая тесно связана со структурой вещества и хорошо реагирует на изменения в молекулярном строении кефира в процессе его производства.

Выбор в качестве наиболее информативных, наиболее значимых характеристик состояния ТП производства кефира реологических характеристик (вязкости, консистенции, угла естественного откоса и др.) выявил, что к настоящему времени в пищевой промышленности для определения этих реологических параметров применяются только лабораторные методы и отсутствуют устройства автоматического контроля данных параметров в потоке.

Поскольку для создания интеллектуальной адаптивной системы контроля и управления качеством кефира необходима полная, объективная, достоверная и своевременная информация о состоянии этого процесса, нами была поставлена задача разработки устройства автоматического контроля вязкости в потоке.

На рисунке 3.24 представлен внешний вид разработанного автоматического ротационного вискозиметра.

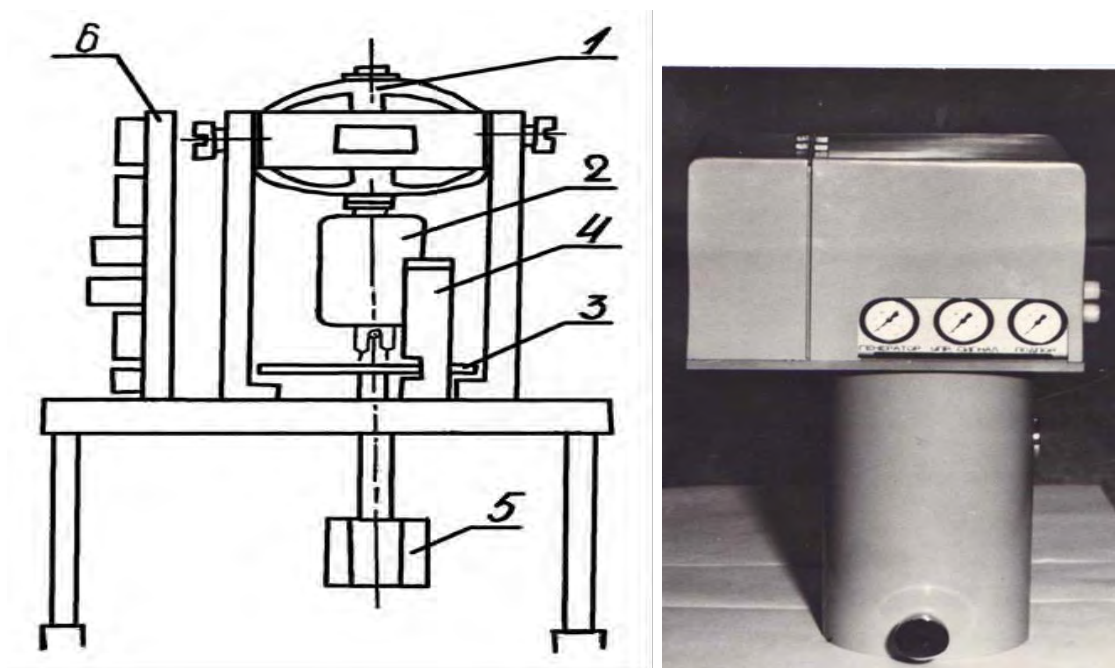


Рисунок 3.24 Внешний вид автоматического ротационного вискозиметра

Данное устройство может быть использовано на линии производства кефира для автоматического контроля в потоке его вязкости (коэффициент корреляции между вязкостью и консистенцией кефира $r_{\text{вк}} = 0,978$). В основу работы вискозиметра положено определение момента сопротивления, создаваемого исследуемой массой при вращении в ней чувствительного элемента (ЧЭ) определенной формы.

Как видно из рисунка 3.24, вискозиметр состоит из двух, конструктивно законченных блоков, соединенных между собой: первичного преобразователя вязкости и блока цифровой индикации 6. Первичный преобразователь вязкости включает электродвигатель 1, вращающий чувствительный элемент (ЧЭ) 5; электромагнитную муфту сцепления 2; соединяющую электродвигатель 1 с валом ЧЭ 5; диск 3 фототахометра с двадцатью четырьмя отверстиями (прорезями), закрепленный на валу ЧЭ 5 и расположенный между лампочкой НН переменного тока на 12В и фотодиодом типа ФД-3А, помещенных в специальный патрон 4. Электронный блок управления 6 предназначен для определения момента достижения ЧЭ 5 заданной частоты вращения и управления работой прибора в целом. В качестве блока индикации использован серийно выпуска-

емый цифровой лазерный фототахометр «Мегеон 18003». Первичный преобразователь вязкости помещен в металлический кожух. Кожух крепится к плоскому основанию, снабженному четырьмя съемными ножками.

Конструкция прибора позволяет менять тела вращения ЧЭ, т.е. в зависимости от необходимого диапазона измерения вязкости и условий работы. На валу можно устанавливать ЧЭ различных размеров и конфигураций (цилиндры разных размеров, диски, конусы и т.д.). При измерении прибором вязкости, ЧЭ первичного преобразователя либо помещается в измерительную ячейку с исследуемой массой (рисунок 3.24 справа), которая, может быть, как проточной (при определении вязкости кефира в потоке), так и не проточной (рисунок 3.24 слева, при определении вязкости в лабораториях). Вискозиметр питается от сети переменного тока напряжением 220В. Блок-схема алгоритма работы данного прибора представлена на рис.3.25.

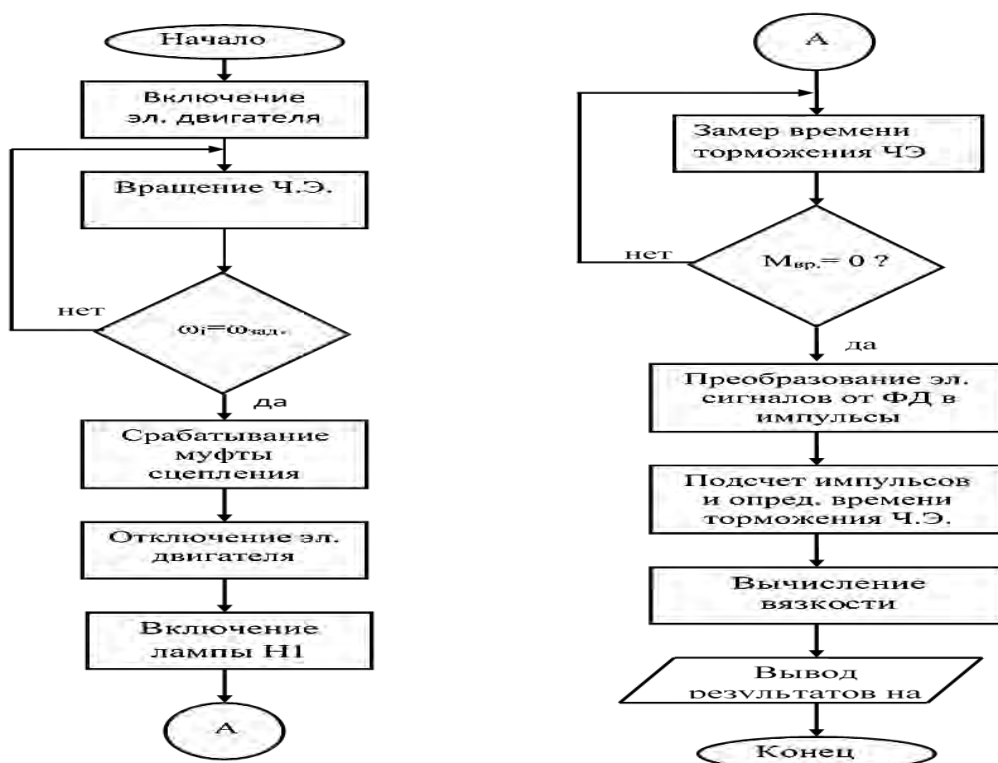


Рисунок 3.25 Блок-схема алгоритма работы ротационного вискозиметра

Прибор работает следующим образом. При включении его в сеть с помощью соответствующего тумблера на панели управления, соленоид электро-

магнитной муфты опускается вниз, и ротор электродвигателя входит в зацепление с валом, на конце которого установлено тело вращения определенной формы. Одновременно начинает работать электродвигатель, приводя во вращение ЧЭ. При достижении электродвигателем заданной частоты вращения $\omega_i = \omega_{\text{зад.}}$, электронный блок управления производит одновременное включение, во-первых, лампы накаливания НІ, помещенной внутри специального патрона для подачи световых импульсов на фотодиод, и во-вторых, электромагнитной муфты сцепления, втягивающей при этом соленоид и тем самым разъединяя ротор электродвигателя с валом ЧЭ. После этого вал с закрепленным на нем ЧЭ приходит в свободное вращение. Одновременно с этим происходит отключение электродвигателя. С этого момента от лампы накаливания через соответствующие прорезы в диске, укрепленном на валу ЧЭ, подаются световые импульсы на фотодиод ФД.

Электрические сигналы от фотодиода преобразуются в фототахометре в импульсы. И далее производится подсчет импульсов до полной остановки ЧЭ. Таким образом осуществляется точный замер времени торможения ЧЭ. Время торможения ЧЭ, свободно вращающегося в исследуемой массе, непосредственно зависит от вязкости данной среды, так как исследуемый продукт с различной вязкостью оказывает различное воздействие на свободно вращающийся ЧЭ и отрицательное ускорение ЧЭ не является постоянной величиной. Поэтому по времени торможения свободно вращающегося ЧЭ от момента отключения электродвигателя до полной его остановки можно судить о величине момента сопротивления, а, следовательно, и о вязкости измеряемой массы. Результаты измерения в цифровом виде высвечиваются на табло фототахометра.

Частота вращения ЧЭ перед началом измерения является величиной постоянной и вполне определенной, так как определяется значением сигнала, поступающего с блока управления. Параметры прибора одинаковы перед каждым замером. И время торможения ЧЭ после отключения электродвигателя до

полной остановки зависит только от вязкости исследуемой массы и измеряется с высокой степенью точности.

Функциональная схема цифрового ротационного вискозиметра представлена на рисунке 3.26 и включает следующие основные элементы:

- безъякорное реле 1 (в состав входят геркон 2 (Гк) и магнит 3 (N – S));
- четырехлопастной пропеллер 4;
- электронный счетчик 5 (Э.Сч.) с входящим в его состав формирователем импульсов 6 (Ф.И.) и ждущим мультивибратором 7 (Ж.М.);
- реле времени 8 (Р.В.).

Принцип действия блока управления заключается в следующем. С геркона 2, входящего в состав безъякорного реле через формирователь импульсов 6 поступают короткие импульсы, которые считываются счетчиком 5. В зависимости от частоты импульсов на выходе электронного счетчика 5, можно получить большее или меньшее напряжение. Чем больше частота, тем большее значение напряжения на выходе.

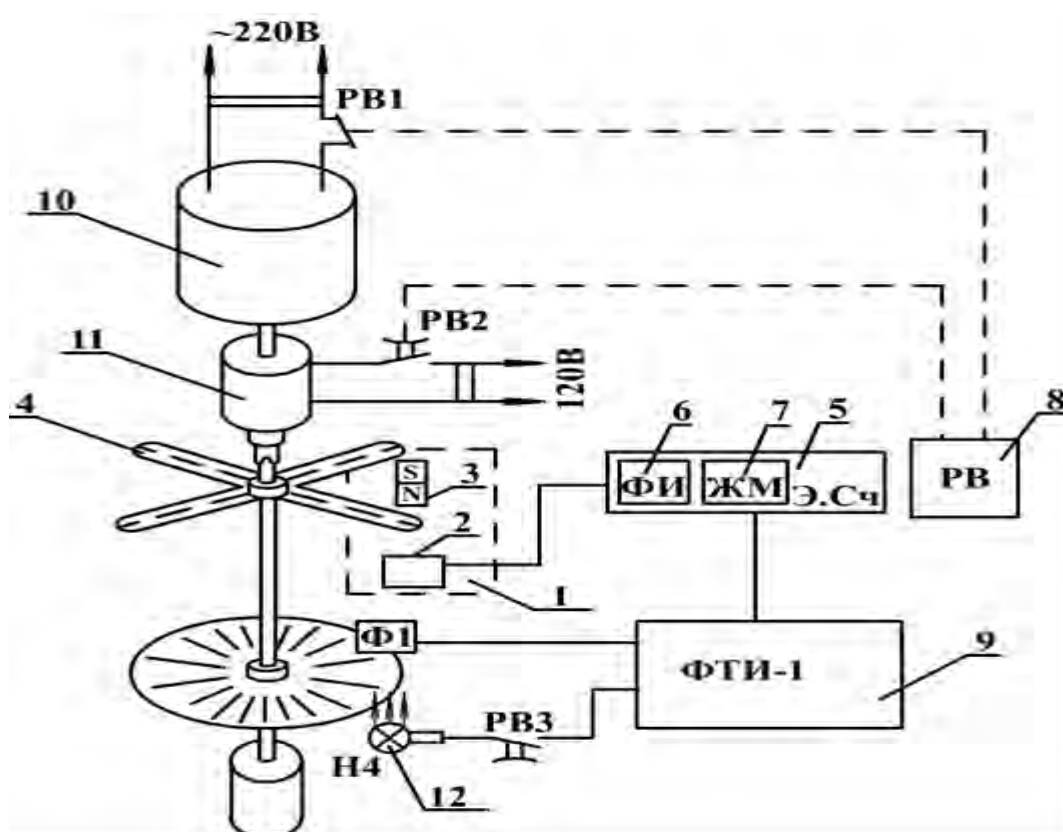


Рисунок 3.26 Функциональная схема цифрового ротационного вискозиметра

На выход формирователя импульсов 6 подключается ждущий мультивибратор 7, настроенный на определенный порог срабатывания. Как только напряжение на выходе формирователя импульсов 6 достигает заданной величины мультивибратор 7 переключается и одной парой контактов реле включает реле времени 8, а второй парой контактов производит обнуление фототахометра - ФТИ 9. Реле времени 8 при срабатывании одновременно замыкает цепь питания электромагнитной муфты сцепления II и лампочки Н1 12. При этом ЧЭ приходит в свободное вращение и производится замер времени торможения ЧЭ. Через определенный промежуток времени реле времени 8 вновь включает электродвигатель 10, отключает муфту II и лампочку 12. Таким образом цикл измерения повторяется. Безъякорное реле 1 и четырехлопастной пропеллер 4 выполняют функции считывающего первичного преобразователя импульсов.

Пропеллер 4 напрессовывается на вал ЧЭ, а безъякорное реле устанавливается таким образом, чтобы лопасти пропеллера при его вращении входили в зазор между герконом 2 и постоянным магнитом 3. При такой установке считывающего первичного преобразователя импульсов контакты геркона будут периодически размыкаться и будет обеспечиваться считывание числа оборотов. Данный электронный блок управления предназначен для определения момента достижения электродвигателем (и механически связанного с ним ЧЭ) заданной частоты вращения. И после этого производится одновременная подача сигналов на включение электромагнитной муфты сцепления, включение лампочки фототахометра и отключение электродвигателя. Выходной цифровой сигнал, соответствующий вязкости исследуемой массы далее поступает одновременно в систему автоматического регулирования вязкости кефира и в интеллектуальную адаптивную систему контроля и управления качеством кефира.

3.5. Система автоматического регулирования вязкости кефира

Предлагается система автоматического регулирования вязкости кефира с использованием цифровой видеокамеры (ЦВК).

Регулирование вязкости осуществляется по каналу «производительность подачи закваски – вязкость кефира». Если продукт имеет вязкость ниже нормы и кефир будет слишком жидким, то в этом случае, можно увеличить количество закваски, подаваемой в молочный резервуар для заквашивания, сквашивания и созревания кефира. Это обеспечивает оптимальную вязкость, однородную нежную консистенцию и стабильность в хранении кефира.

Функциональная схема системы автоматического регулирования вязкости кефира показана на рисунке 3.27.

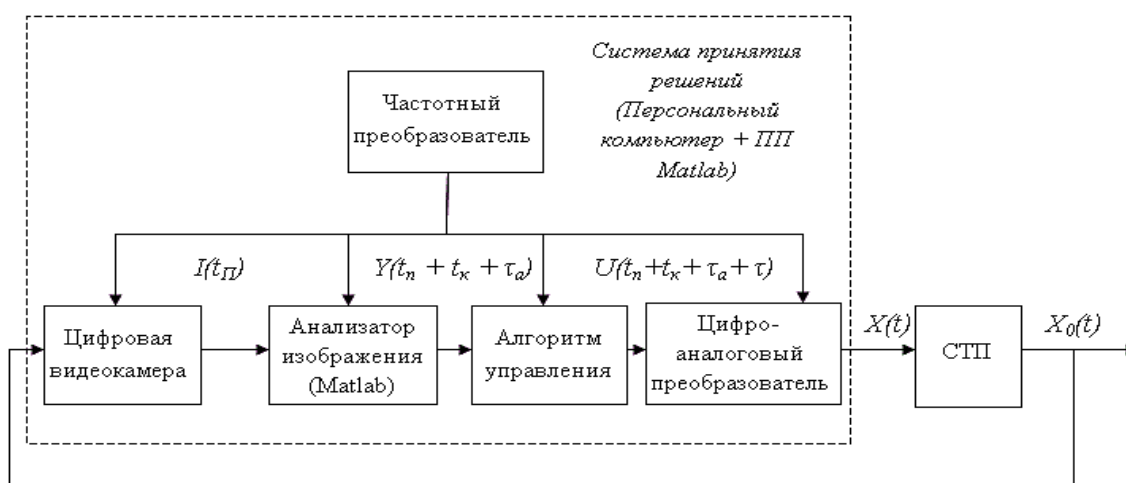


Рисунок 3.27 Функциональная схема САР вязкости кефира

Схема включает: резервуар для заквашивания, сквашивания и созревания кефира; цифровую видеокамеру, анализатор изображения, алгоритм управления, цифро-аналоговый преобразователь и частотный преобразователь; блок преобразователя.

Данные элементы образуют блок принятия решения интеллектуальной адаптивной системы контроля и управления качеством кефира (блок управления), сигнал от которого поступает на насос-дозатор с тиристорным управлением, регулирующий подачу закваски.

3.6. Выводы по 3 главе

Рассмотрена возможность и интеллектуальные технологии автоматического контроля основных органолептических показателей качества кефира в потоке.

Поставлена и решена задача создания средств автоматического контроля в потоке внешнего вида и цвета кефира с применением интеллектуальных технологий (СКЗ и ИНС). Для этого разработан алгоритм проведения анализа и обработки изображений этих органолептических показателей качества. Предложен и обоснован метод предобработки изображений различных видов кефира. Рассмотрены, проанализированы и выбраны оптимальные методика и алгоритмы обработки и анализа изображений внешнего вида и цвета кефира. Предложен метод для обработки изображений внешнего вида и цвета кефира. Разработан программно- аппаратный комплекс автоматического контроля внешнего вида и цвета кефира. Предложена блок - схема алгоритма принятия решения на соответствие внешнего вида и цвета кефира эталонному значению.

Проведено теоретическое обоснование возможности автоматизации контроля вкуса кефира в потоке с использованием нейросетевых технологий. Представлена нейросетевая модель контроля вкуса кефира. Показаны основные этапы решения задачи построения виртуального датчика автоматического контроля в потоке вкуса кефира. Представлен алгоритм и проведено обучение используемой НС для решения намеченной задачи. Проведен анализ работоспособности нейросетевой модели. Разработан модуль автоматического контроля в потоке вкуса кефира с использованием НСТ. Представлены алгоритмы работы этого модуля.

Разработано устройство для автоматического контроля в потоке вязкости кефира и представлена система автоматического регулирования этого параметра.

ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ КЕФИРА

4.1. Цели создания интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кефира (ИАСКУКК)

Основными целями создания ИАСКУКК являются:

- Улучшение качества принимаемых решений специалистами по оперативному управлению производством кефира путем предоставления им специализированных автоматизированных рабочих мест для анализа технологических и режимных параметров хода технологических процессов производства в целом.
- Уменьшение временных издержек оперативного управления производством посредством организации автоматического контроля в потоке основных органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готового кефира.
- Повышение эффективности производства кефира за счет создания структурированных иерархий данных, развитой визуализации, интеграции существующих на предприятии различных информационных систем, прикладных пакетов программ.

Внедрение интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кефира (ИАСКУКК) предоставляет возможность оперативного управления процессом производства кефира на предприятиях молочной промышленности, а также позволяет эффективно использовать информацию, поступающую с нижнего уровня управления технологическими процессами (уровень АСУТП), для обработки и анализа системами класса АСУП.

К безусловным достоинствам ИАСКУКК также относится:

- Сбор данных с виртуальных и интеллектуальных датчиков автоматического контроля органолептических показателей качества кефира в режиме он-лайн и их гарантированная доставка в единое хранилище системы.

- Сжатие (в 4...10 раз) и долговременное хранение колоссальных объемов данных в едином формате.
- Большое количество пользователей, благодаря высокой скорости записи и считывания – до 1000 000 операций в секунду.
- Поддержка каналов обмена информацией с системами управления верхнего уровня (SAP/R3, Oracle Application и др.).
- Возможность более эффективного решения широкого круга задач управления производством предприятия в целом.

В настоящее время на достоверность получаемых от лаборатории данных по произведенной продукции кефира большое влияние оказывает «человеческий фактор». Интеллектуальная автоматизированная система контроля и управления качеством кефира имеет своей главной целью максимальное повышение эффективности производства кефира и уменьшение влияния «человеческого фактора».

Отражение процессов производства кефира в системе, более точный и детальный учет всех стадий этого производства в совокупности с полной информацией о ходе производственного процесса, автоматическое формирование пользовательской отчетности в электронном виде – все эти элементы ИАС КУКК имеют своей целью предоставить всем участникам процесса управления производством инструменты в их ежедневной работе для оперативного управления производством на современном уровне с использованием интеллектуальных технологий.

4.2. Задачи интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кефира

Интеллектуальная автоматизированная система контроля и управления качеством кефира решает следующие задачи:

- контроль в режиме реального времени органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции кефира;

- идентификация текущего состояния технологических процессов производства кефира;
- прогнозирование качества готовой продукции;
- поддержка принятия управленческих решений в реальном времени в условиях неопределенности для своевременного регулирования процессов производства.

Таким образом, основными категориями задач, решаемых данной ИАС КУКК являются: контроль, наблюдение (мониторинг), прогнозирование и поддержка принятия управленческих решений для регулирования процессов производства кефира.

4.3. Свойства и структура интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кефира (ИАСКУКК)

Основными свойствами разработанной ИАСКУКК являются:

1. Способность ИАС делать выводы и принимать управляющие решения на основании полученной информации, которая представляется в системе не в явном виде.
2. Способность ИАС к четким пояснениям, то есть интеллектуальная система должна по требованию пользователя вывести понятную и ясную для него цепочку рассуждений о состоянии в данный момент ТП производства кефира.
3. Способность ИАС к обучению, которая подразумевает, например, способность выводить новые знания на основании новой информации, полученной от пользователя.
4. Способность ИАС широко использовать для контроля и управления информацию, полученную от виртуальных и интеллектуальных датчиков автоматического контроля органолептических показателей качества кефира в процессе производства, которые ранее оператор получал в результате лабораторных анализов от экспертов в данной области.

Структура интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кефира представлена на рисунке 4.1. ИАСКУКК посредством подсистемы сбора и передачи информации («Измерительная подсистема. Источники данных») собирает данные от различных источников информации и передает их в подсистему хранения и обработки данных, которая обеспечивает их долговременное хранение в ИАС, а также реализует выполнение инженерных расчетов над исходными данными («Подсистема хранения и обработки данных»).



Рисунок 4.1. Структура интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кефира (ИАСКУКК)

Обработанные данные поступают в подсистему прикладных задач, которая реализует базовую функциональность системы и, кроме того, может включать в себя смежные функции управления производством кефира. Далее информация предоставляется пользователям системы в различных функциональных разрезах на мнемосхемах и отчетах.

4.4. Основные этапы построения и проектирования ИАСКУКК

Решение практической задачи построения интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кефира (ИАСКУКК) требует проработки следующих основных этапов построения такой системы (рисунок 4.2).



Рисунок 4.2 Основные этапы построения ИАСКУКК

Как видно из рисунка 4.2, основой для построения ИАСКУКК являются разработка базы данных и базы знаний, встраиваемых в информационную систему обеспечения функционирования интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления.

На молочных предприятиях осуществляется контроль качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции кефира на основании данных лабораторных анализов. При этом проводимый контроль имеет эпизодический характер. Недостатки существующего процесса контроля качества кефира:

- Операторы-технологи, управляющие ТП производства кефира, получая значения лабораторных анализов раз в смену или реже, с запаздыванием на два- три часа времени отбора пробы, не имеют возможности оперативно от-

слеживать изменения показателей качества, обусловленные колебаниями качества сырья, микроклимата производственных помещений и так далее. Кроме этого, параметры качества кефира формируются под влиянием большого числа режимных переменных, поэтому оператору достаточно трудно проанализировать причину их изменений и принять технологически обоснованное решение. Для уменьшения нарушений по качеству кефира в указанных условиях операторы вынуждены вести процесс с большим запасом по качеству.

- Согласно статистике, лабораторные анализы в ряде случаев, делаются со значительной погрешностью, а при ручном вводе значений параметров качества в систему сбора и хранения данных могут быть допущены ошибки ввода данных.
- На молочных предприятиях в настоящее время не осуществляется контроль качества выпускаемой продукции в режиме реального времени. Трудно оценить момент начала и конца нарушения ограничений на качество, если оно имело место в промежутке между двумя анализами.

Расчеты показателей качества кефира по полученным мультиагентным и структурно-параметрическим моделям позволяют производить фильтрацию лабораторных анализов и отсеивать те из них, которые были выполнены со значительной погрешностью, или введены в ИАСКУКК с ошибками. При реализации ИАСКУКК, операторы установок получают возможность проанализировать причины изменения качества за заданный промежуток времени и, в соответствии с этим, оперативно предпринять соответствующие действия по компенсации возмущений.

Кроме того, руководство молочного предприятия получает возможность оперативно отслеживать изменения в качестве производимой продукции, контролировать величину и продолжительность нарушений, если они имели место.

Следует отметить, что технология проектирования интеллектуальных автоматизированных систем автоматизации с использованием SCADA-систем включает следующие важные этапы:

- Разработка архитектуры системы в целом. На этом этапе определяется функциональное назначение каждого узла системы автоматизации.
- Решение вопросов, связанных с возможной поддержкой распределенной архитектуры, необходимостью введения узлов с горячим резервированием и т.п.
- Создание системы управления для каждого узла. На этом этапе специалист в области автоматизируемых процессов наполняет узлы архитектуры алгоритмами, совокупность которых позволяет решать задачи автоматизации.
- Приведение параметров системы в соответствие с информацией, которой обмениваются устройства нижнего уровня (например, датчики температуры, давления, расхода и др.) с внешним миром (например, АСУП).
- Отладка созданной прикладной программы (включая реальный режим).

4.5. Функциональная модель работы ИАС КиУ КК.

На рисунке 4.3 представлена функциональная модель работы интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кефира (ИАСКУКК) в реальном времени.

Как видно из рисунка 4.3, функциональная модель ИАСКУКК включает набор блоков, описывающих прием и передачу контролируемых сигналов, промежуточные переменные; структуру математической обработки данных, документирования и архивирования; модули автоматического контроля органолептических показателей качества кефира (внешнего вида, цвета; вкуса и консистенции кефира); а также блоки, содержащие графические формы представления информации управления, шаблоны генерируемых отчетов; файлы технологических и аварийных сообщений и др.

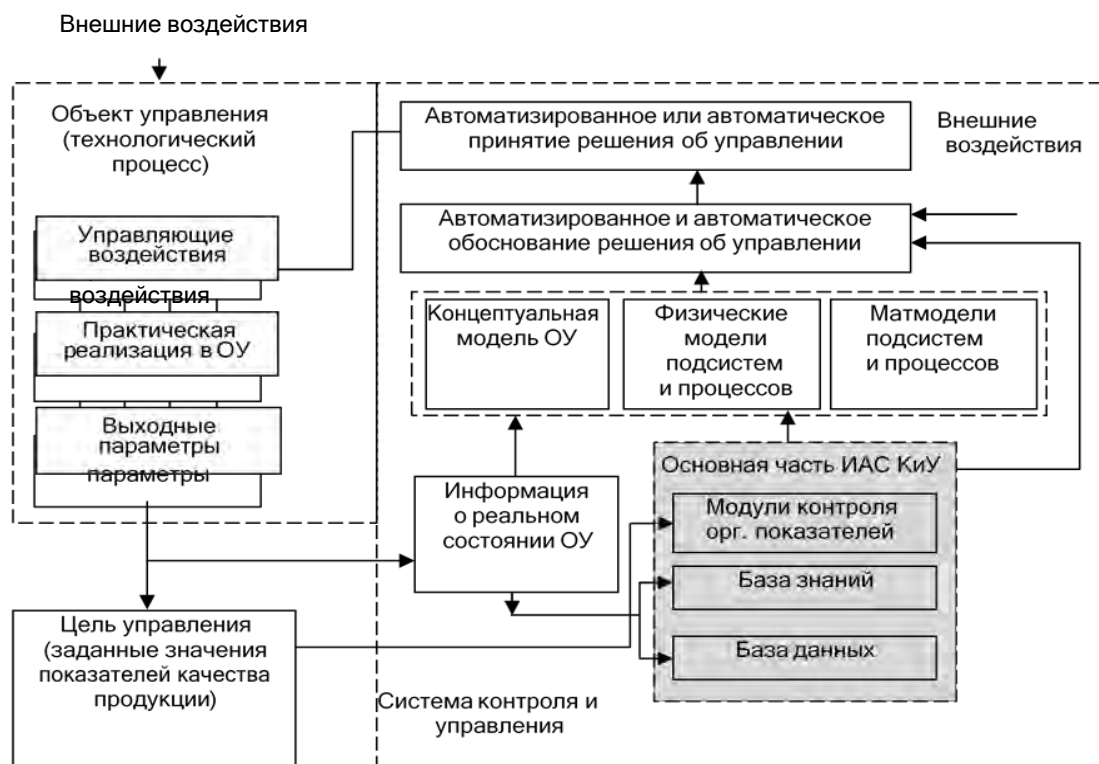


Рисунок 4.3 Функциональная модель работы ИАС КиУ КК

Система также содержит набор программных средств, позволяющих разрабатывать и отлаживать системы контроля и управления, не прибегая к использованию языков программирования.

Система ориентирована на стандартные, надежные аппаратно-программные средства, а, следовательно, создаваемые с её помощью разработки имеют не высокую стоимость. Данное качество является большим плюсом.

Система допускает плавное обновление программных и аппаратных средств.

Поскольку при решении современных задач управления сложными многопараметрическими производственными процессами, каким является процесс производства кефира, приходится сталкиваться с решением трудноформализуемых задач, необходимо было в разрабатываемой интеллектуальной автоматизированной системе контроля и управления динамическим процессом использование системы класса SCADA TRACE MODE. Операторские станции, созданные на базе TRACE MODE, можно объединять в локальную сеть и создавать многоканальные системы интеллектуального управления.

Разработанная ИАСКУКК представляет собой совокупность различных блоков (модулей), а также всех математических и графических элементов системы, функционирующих на контроллерах одной АСУ ТП, объединенных информационными связями и единой системой архивирования. Такая система содержит необходимую информацию об алгоритмах работы адаптивной системы контроля и управления. Блоки ИАСКУКК размещаются на аппаратных средствах (компьютерах и контроллерах) и работают под управлением исполнительных модулей TRACE MODE.

Принимая во внимание то, что оператор-диспетчер в условиях неопределенности и жесткого дефицита времени решает такие задачи, как:

- анализ проблемной ситуации;
 - идентификация возникшего отклонения от нормального (штатного) режима функционирования объекта;
 - поиск возможных корректирующих решений по воздействию на объект;
 - прогнозирование ситуаций;
 - оценка последствий принимаемых решений;
 - выдача команд на отработку необходимых управляющих воздействий,
- в ИАСКУКК осуществлен перенос функций диспетчера по анализу данных, прогнозированию ситуаций и принятию соответствующих решений на компоненты интеллектуальной системы поддержки принятия и исполнения решений.

Функция прогнозирования в ИАСКУКК является одним из ключевых моментов при принятии решений в управлении качеством кефира. Возможность заранее предсказать неуправляемые аспекты этих событий позволяет сделать оптимальный выбор, который без данной системы был бы не таким удачным. Прогнозирование качества выпускаемой продукции осуществляется соответствующей подсистемой, являющейся частью ИАСКУКК, которая взаимодействует с другими компонентами системы, играя немалую роль в получаемом результате.

Для решения задач контроля, прогнозирования и управления качеством готового кефира в ИАСКУКК были использованы разработанные имитационные и структурно-параметрические модели, применение которых позволяет решить ряд таких задачи, как:

- определение в потоке основных органолептических характеристик кефира (цвет, вкус, консистенция и внешний вид);
- сокращение времени производственного цикла;
- снижение материальных затрат на проведение лабораторного анализа;
- возможность получения новых рецептур и др.

При оснащении предприятий молочной промышленности современными интеллектуальными автоматизированными системами контроля и управления качеством выпускаемой продукции заказчик получает в свое пользование оборудование, укомплектованное огромным количеством разнообразных интеллектуальных датчиков и исполнительных механизмов. В отличие от используемых ранее, эти устройства позволяют не только измерять параметры и вырабатывать управляющие воздействия, но и осуществлять различного рода интеллектуальные операции, такие как: подстройка параметров, оцифровка сигналов, самодиагностика и др. Это позволяет свести к минимуму потери, связанные с износом оборудования, а также в кратчайшие сроки определить неисправность устройства, тем самым снизить процент брака выпускаемой продукции.

В ИАСКУКК информация с датчиков поступает на программируемые логические контроллеры. Контроллеры размещены таким образом, чтобы осуществлять управление отдельными узлами технологической линии. Основной задачей программируемого логического контроллера является отработка алгоритма хода технологического процесса, а также синхронизация работы отдельных узлов линии между собой. Передача информации между узлами осуществляется с помощью промышленных сетей полевого уровня, таких как: Profibus DP, Foundation Fieldbus, CAN open и др.

Внедрение ИАСКУКК открывает возможности централизованного сбора и хранения информации измеряемых параметров на всех стадиях производства кефира, что позволяет осуществлять анализ различных показателей, необходимых для повышения конкурентоспособности выпускаемой на рынок продукции.

4.6. Создание комплекса программного обеспечения (ПО) для расчета показателей качества кефира

На основе разработанных и представленных ранее в данной работе алгоритмов и моделей создан комплекс программного обеспечения (ПО) для расчета показателей качества кефира в темпе с технологическим процессом. Комплекс основан на клиент-серверной архитектуре и состоит из пяти функциональных подсистем:

1. РІ сервер - сбор и хранение технологических параметров и данных из лаборатории по качеству разных видов кефира.
2. АРМ Конфигурирования - автоматизированное рабочее место для разработки и тестирования моделей.
3. Сервер моделирования- on-line вычисления параметров качества кефира, на основе технологических и лабораторных данных. Сбор необходимых данных из РІ сервера. Перерасчет моделей. Выдача результатов в РІ сервер.
4. АРМ Администратора - управление сервером моделирования. Запуск и остановка расчетов. Отслеживание ошибок.
5. АРМ Пользователя - подсистема отображения информации. Визуализация данных выполняется в виде таблиц, графиков и гистограмм.

На рисунке 4.4 представлена структура комплекса программного обеспечения (ПО) для расчета показателей качества кефира.

В основу построения программного обеспечения системы положены принципы структурного программирования: модульности и децентрализации управления. Как видно из рисунка 4.4., отдельные части программного обеспечения выделены в виде блоков.

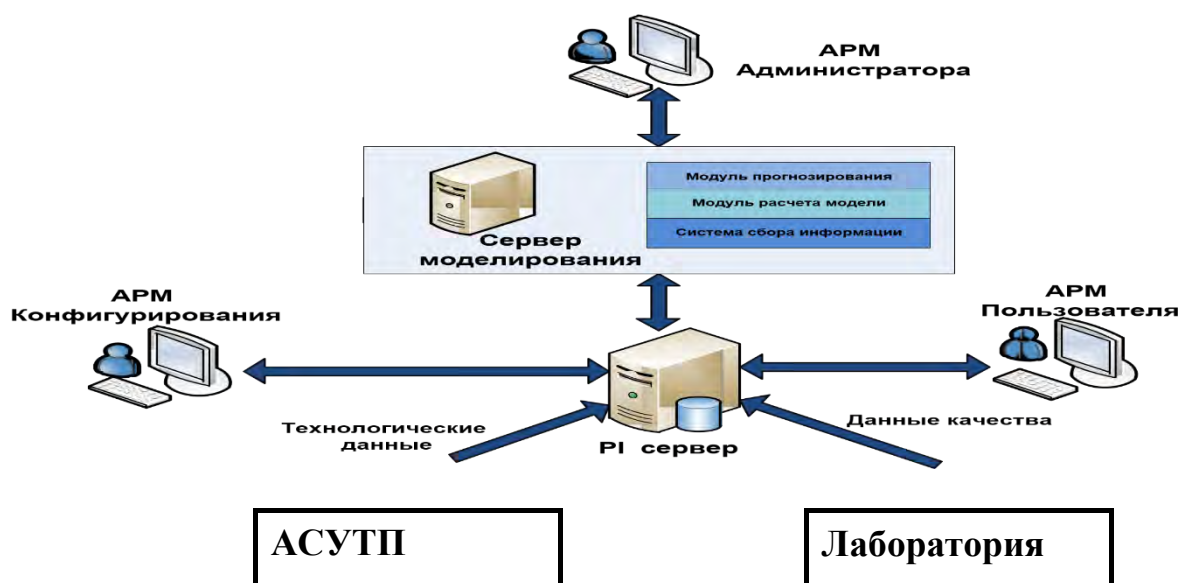


Рисунок 4.4 Структура комплекса программного обеспечения для расчета показателей качества кефира

Это позволяет повысить надежность всей системы в целом, упрощает его дальнейшее совершенствование. Каждый блок реализует решение одной из описанных выше задач.

АРМ Конфигурирования

«АРМ Конфигурирования» - автоматизированное рабочее место для разработки и тестирования моделей определения показателей качества кефира. Он состоит из следующих модулей:

- Основной модуль качества кефира (состоит из следующих подсистем: программно- аппаратного комплекса (ПАК₁) автоматического контроля внешнего вида и цвета кефира с использованием СКЗ; программно- аппаратного комплекса (ПАК₂) автоматического контроля вкуса кефира с использованием НСТ и программно- аппаратного комплекса (ПАК₃) автоматического контроля и регулирования в потоке вязкости кефира.
- Модуль создания или редактирования моделей всех этапов производства кефира.
- Модуль расчета этих моделей.
- База данных.

- База знаний.

Основной модуль является корневым и предоставляет доступ ко всем остальным модулям АРМа. Основная функция этого модуля - организация взаимодействия между модулями и отображение результатов моделирования и исходной информации на графиках, таблицах и диаграммах.

Модуль создания или редактирования моделей предназначен для создания и редактирования структуры моделей. Структура модели является древо-видной. Она может быть создана сразу для нескольких линий производства кефира. Предусмотрена возможность создания групп одновременно измеряемых показателей качества, что позволяет рассчитывать их одновременно за один цикл.

Модуль расчета модели. Данный модуль предназначен для расчета модели по одному из методов, описанных в 3 главе. Имеющиеся данные по технологическим и режимным параметрам, а также данные по анализам качества кефира разных видов разбиваются на две выборки обучающей и тестовой. Затем происходит построение модели согласно методике, описанной во 3 главе.

База данных моделей предназначена для локального хранения ранее разработанных моделей. Она содержит в себе все необходимые данные (структуру модели, свойства, числовые значения и др.) для работы с уже разработанными моделями без доступа к РІ серверу. Это позволяет избежать многократного обращения к РІ серверу и дает возможность отлаживать модели, не находясь на объекте.

Сервер моделирования

Сервер моделирования производит сбор исходных данных и on-line вычисляет параметры качества кефира с настраиваемой частотой (примерно один раз в 15 минут) по алгоритмам, описанным во 2 и 3 главе. После вычисления параметры записываются в соответствующие теги РІ сервера. Также производится перерасчет модели при поступлении новых лабораторных данных (2-3

раза в сутки). Сервер моделирования одновременно может рассчитывать несколько моделей. Расчет каждой модели запускается в параллельном процессе. Для запуска расчета необходимо указать файл структуры модели, сформированный в АРМ Конфигурирования. Выполнение процессов полностью диагностировано. При ошибках выдаются текстовые сообщения, которые в реальном времени архивируются. Управление всеми процессами доступно из АРМа Администратора.

АРМ Администратора

АРМ Администратора предназначен для управления сервером моделирования. Он позволяет создавать новый процесс расчета модели на основе файла структуры, который формируется в АРМ Конфигурирования. Также позволяет запускать или останавливать текущие расчеты. При этом ведется логирование всех действий администратора, а также отображение всех сообщений сервера моделирования.

АРМ Пользователя

АРМ пользователя представляет собой подсистему визуализации данных для операторов. Визуализация данных может выполняться средствами PI-ProcessBook в виде таблиц, графиков, гистограмм и мнемосхем по вызову пользователя на панелях нескольких заранее определенных типов.

При вызове панелей пользователь выбирает из предоставляемых списков название этапа производства кефира или название аппарата, названия вида кефира и показателей его качества, а также указывает начало и конец периода времени, за который будут выводиться данные. При этом по умолчанию данные выводятся за последние 8 часов работы.

На некоторые панели одновременно с графиками выводятся числовые показатели, характеризующие точность прогнозов.

Вывод графиков осуществляется в естественных единицах измерения или в баллах. Масштабирование при выводе выполняется за определенный, постоянный для каждого показателя качества интервал вне зависимости от

диапазона изменения его выводимых значений. Отсчет значений ведется от среднего значения параметра по выборке.

Основные контролируемые текущие показатели качества кефира представляются в виде совокупности кадров на конфигурируемой панели. На каждом кадре выводится график прогнозов показателя качества и поступавшие за это время анализы этого показателя качества из лаборатории, а также существующие границы допустимого изменения этого показателя качества.

Контроль текущих значений основных параметров режима. Основные показатели режима представляются аналогичным образом. На каждом кадре представляются графики значений переменных в процессе производства кефира и регламентированные значения параметров данной технологической среды.

Контроль точности моделей качества сырья и готового кефира. Для осуществления контроля точности разработанных моделей на панель мониторинга представляется график анализов и прогнозов по моделям, рассчитанный в моменты отбора проб на анализ. На панель выводится также таблица со значениями среднеквадратичных отклонений и коэффициентов корреляций для указанных пар значений по всей выборке, а для пар анализ - прогноз и по выведенным за выбранный период данным.

Подробно все эти исследования приведены в наших работах [8, 9, 14, 18, 19, 20, 24 – 30, 32, 34, 36 – 38, 41, 44 - 47]

4.7. Выводы по 4 главе

В четвертой главе показаны технические решения для реализации интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кефира (ИАСКУКК).

Представлены цели и основные задачи создания интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кефира

Показано, что основными категориями решаемых данной ИАС задач являются: контроль, наблюдение (мониторинг), прогнозирование и поддержка

принятия управленческих решений для регулирования процессов производства кефира.

Разработана структурная схема ИАСКУКК.

Приведены основные этапы построения и проектирования данной системы.

Представлена функциональная модель построения ИАСКУКК.

Разработан комплекс специализированного программного обеспечения (ПО) для расчета показателей качества кефира.

Разработанная ИАСКУКК представляет собой интеллектуальную систему получаемых данных для автоматического контроля за ходом процессов производства кефира в потоке и дает возможность на основе анализа полученных результатов незамедлительно принимать управленческие решения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В диссертации решена научно-техническая задача теоретического обоснования, синтеза и практической реализации интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кефира в процессе производства, обеспечивающая получение готового напитка с заданными свойствами. Основные результаты работы:

1. Проведен анализ ТП производства кефира как объекта автоматизации и на его основе определены необходимые точки контроля и регулирования. Выбраны основные факторы, формирующие качество готового кефира.

2. Осуществлен выбор основных органолептических показателей качества кефира. Рассмотрены существующие методы и средства их контроля. Поставлена задача автоматизации контроля в потоке этих показателей качества с использованием искусственных нейронных сетей (ИНС), системы компьютерного зрения (СКЗ) и реологических методов.

3. Проанализирована структура цехов производства кефира как логико-математического объекта имитационного моделирования. Разработаны мультиагентные имитационные модели всех основных этапов производства кефира, позволившие выявить узкие места на различных этапах его производства.

4. На основе полученных имитационных моделей разработана интеллектуальная подсистема поддержки принятия решений для автоматизации, идентификации и выявления проблемных зон производства кефира.

5. Выполнено структурно – параметрическое моделирование и разработаны параметрические модели всех основных этапов производства кефира.

6. Разработаны функциональные схемы автоматизации всех стадий производства кефира с использованием современных интеллектуальных технологий.

7. Поставлена и решена задача создания средств автоматического контроля в потоке внешнего вида, цвета, вкуса и консистенции кефира с применением нейросетевых технологий, компьютерного зрения, мультиагентного моделирования и реологических методов. Разработано алгоритмическое, математическое и программное обеспечение автоматического контроля данных органолептических показателей кефира в процессе его приготовления.

8. Показаны технические решения для реализации интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кефира. Разработана структурная схема ИАСККК. Приведены основные этапы и функциональная модель построения и проектирования данной системы. Разработан комплекс специализированного программного обеспечения (ПО) для расчета показателей качества кефира.

9. Решена важная научно - практическая задача повышения эффективности управления ТП производства кефира за счет использования новых решений при разработке интеллектуальной адаптивной системы контроля и управления ее качеством.

10. Проведена производственная проверка результатов исследования на промышленном оборудовании линии по производству кефира на молочных предприятиях: «Гжельское подворье» и АО «Жуковомолоко» (имеются акты внедрения).

11. Полученные в рамках настоящего исследования научные и практические результаты диссертационной работы внедрены в учебном процессе кафедр «Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами» и «Информатика и вычислительная техника пищевых производств» 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.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ

1. АИС – автоматизированная информационная система

2. АК - автоматический контроль
3. АСУ – автоматизированная система управления
4. АСУП – автоматизированная система управления предприятием
5. АСЦ - аппаратно-сырьевой цех
6. БД – база данных
7. БЗ – база знаний
8. ИАС КУ КК - интеллектуальная адаптивная система контроля и управления качеством кефира
9. ИИ - искусственный интеллект
10. ИИС - интеллектуальные информационные системы
11. ИМ - имитационная модель
12. ИНС - искусственная нейронная сеть
13. НТ - нейросетевые технологии
14. НСТ – нейросетевые технологии
15. ИАСКиУ КК - интеллектуальная адаптивная система контроля и управления качеством кефира
16. ИС - информационные системы
17. ИСУ - интеллектуальные системы управления
18. НС – нейронная сеть
19. НСТ – нейросетевые технологии
20. ПАК - программно- аппаратный комплекс
21. ПО – программное обеспечение
22. ППОУ - пластинчатая пастеризационно-охладительная установка
23. ППП – пакет прикладных программ
24. ПУ – пульт управления
25. САР – система автоматического регулирования
26. ТП – технологический процесс
27. УВМ – управляющая вычислительная машина
28. ЧЭ - чувствительный элемент
29. ЦВК – цифровая видеокамера
30. ФСА – функциональная схема автоматизации
31. ЭВМ - электронно-вычислительная машина

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ РАБОТЫ

Публикации в изданиях, индексируемых WoS/Scopus

1. IDENTIFICATION OF READINESS FOR INNOVATIVE ACTIVITIES OF EMPLOYEES OF MODERN ORGANIZATIONS

Donnik I.M., Pechenaya L.T., Ivanova-shvets L.N., Krylova L.A.

В сборнике: INTED2019 13th International Technology, Education and Development Conference. Conference proceedings. 2019. С. 9473-9479.

2. The model of ensuring the quality of life and nutrition security in the education sector печ Proceedings of the Nutrition Society, 2018. Крылова Л.А., Корбукова Н.А., Афанасьева Г.А., Тарасова В.В., Токарева Т.Ю., Тарасов А.В., Карелина Н.Н.

3. THE INVOLVEMENT OF UNIVERSITY LECTURERS AS TUTORS TO SUPPORT HIGH SCHOOL INDIVIDUAL PROJECTS печ Palma de Mallorca (Spain) 2018 P.11091-11099 9 с. Крылова Л.А., Войно Л.И.

4. THE EFFICIENCY OF STUDENTS' RESEARCH ACTIVITIES AT THE FOOD PRODUCTION UNIVERSITY. Seville, Spain 2018 P. 4532-4539. 8 с. Акопян А.И., Акопян К.Б., Крылова Л.А.

5. Key Options of Ecologicla Hospitality Development печ Bulgaria 2018 P.473-478 6 с. Пасько О.В., Крылова Л.А., Суворов О.А.

6. Automated system for monitoring compliance of educational programs with new generation standarts 13th International Technology, Education and Development Conference Valencia (Spain), 11-13.03.2019. S. 9703-9710. Shipareva M.G., Aitov V.G., Chekin I.I., Krylova L.A.

Публикации в изданиях, включенных в Перечень ВАК РФ:

7. Крылова Л.А. и др. Использование нейронных сетей как фактора повышения качества и безопасности производства пищевых продуктов при решении задач автоматизации / М.М. Благовещенская, И.Г. Благовещенский, Л.А. Крылова // «Автоматизация Технологических и Бизнес - Процессов», Одесса. - № 1, 2015 г., с. 7 – 11

8. Крылова Л.А. и др. Модель управления технологическим процессом производства пищевой продукции / М.М. Благовещенская, И.Г. Благовещенский,

- Л.А. Крылова //«Кондитерское и хлебопекарное производство», №1 (155), 2015. – с. 45 - 48
9. Крылова Л.А. и др. Разработка функциональной схемы и математической модели системы автоматического управления технологической линией горячего копчения рыбы // М.М. Благовещенская, В.Г. Аитов, Л.А. Крылова, А.Я. Красинский, И.И. Чекин, М.Г. Шипарева «Пищевая промышленность». 2018. № 11. С. 46-50.
10. Крылова Л.А. и др. Применение методы объектно- ориентированного программирования для контроля показателей качества кондитерской продукции / А.Н. Петряков, М.М. Благовещенская, Л.А. Крылова, В.Г. Благовещенский //«Кондитерское и хлебопекарное производство». 2018. № 5-6 (176). С. 21-2
11. Крылова Л.А. и др. Разработка структурно-параметрической, математической и ситуационной моделей процессов сепарирования / В.Г. Благовещенский, А.Е. Краснов, И.Г. Благовещенский, Л.А. Крылова, В.В. Головин, М.М. Благовещенская// Научный журнал НИУ ИТМО. Серия "Процессы и аппараты пищевых производств",2021. №3 (49). С.40-52.
12. Крылова Л.А. и др. Использование системы компьютерного зрения для автоматизированного определения органолептических показателей качества семян подсолнечника / А.Н. Петряков, П.М. Шкапов, Л.А. Крылова , И.Г. Благовещенский //«Хранение и переработка сельхозсырья». 2017. № 12. С. 53-5
13. Крылова Л.А. и др. Методика автоматической оценки качества пищевых изделий на основе теории искусственных нейронных сетей / М.М. Благовещенская, И.Г. Благовещенский, Е.А. Назойкин, Л.А. Крылова //«Пищевая промышленность», №.2, 2015. - С. 42 – 45.
14. Крылова Л.А. и др. Модель управления качеством технологических процессов зерноперерабатывающих и мельничных предприятий / М.М. Благовещенская., А.Э. Козловская, Л.А. Крылова, И.Г. Благовещенский // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий, № 4, 2014. –С.75 - 80.

15. Крылова Л.А. и др. Система автоматического регулирования процесса формирования конфетных жгутов / М.М. Благовещенская, Л.А. Крылова, И.Г. Благовещенский, С.М. Носенко, Я.В. Иванов// «Пищевая промышленность», № 5, 2-13. – С.46-49.
16. Крылова Л.А. и др. Построение интеллектуального модуля-дегустатора для прогнозирования вкусовых качеств кондитерских масс / М.М. Благовещенская, С.М. Носенко, А.В. Шаверин, Л.А. Крылова, А.С. Носенко// «Хранение и переработка сельхозсырья», № 6, 2013. – С. 12-16.
17. Крылова Л.А. и др. Использование нейронных сетей как фактора повышения качества и безопасности пивобезалкогольных напитков при дезинфекции ПЭТ-бутылок / М.М. Благовещенская, И.Г. Благовещенский, Е.В. Роденков, Л.А. Крылова // «Хранение и переработка сельхозсырья», № 7, 2013. – С. 39-40.
18. Крылова Л.А. и др. Построение интеллектуального модуля для прогнозирования вкусовых качеств кондитерских масс/ М.М. Благовещенская, Л.А. Крылова// Хранение и переработка сельхозсырья, № 6, 2013. – С. 12-13.
19. Крылова Л.А. и др. Моделирование гидромеханических систем пищевых производств при расчете динамических характеристик / П.М. Шкапов, С.М. Носенко, Л.А. Крылова //Хранение и переработка сельхозсырья, № 5, 2012. – С. 61-64.
20. Крылова Л.А. и др. Использование цветометрической системы для идентификации концентрации окрашенных растворов в пищевой промышленности / М.М. Благовещенская, И.Г. Благовещенский, Л.А. Крылова// Хранение и переработка сельхозсырья, № 8, 2012. – С. 6-10.

Научные публикации в прочих изданиях:

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

22. Крылова Л.А. и др. Исследование показателей качества помадного сиропа в процессе охлаждения /В.Г. Благовещенский, М.Ю. Никитушкина, Л.А. Крылова // Современное состояние и перспективы развития упаковки в пищевой промышленности Материалы Конференции с международным участием. 2018. С. 150-155.
23. Крылова Л.А. и др. Автоматизация процесса приготовления сахарного сиропа / В.Г. Благовещенский, М.Ю. Никитушкина, Л.А. Крылова// Передовые пищевые технологии: состояние, тренды, точки роста Сборник научных трудов I научно-практической конференции с международным участием, 29 - 30 ноября 2018 г. 2018. С. 663-667.
24. Крылова Л.А. и др. Разработка программно- аппаратного комплекса мониторинга производства кефира / В.Г. Благовещенский, Л.А. Крылова, А.С. Максимов// Сборник материалов научной конференции с международным участием «Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности России: кадры и наука». Секция «Интеллектуальные технологии в управлении технологическими процессами пищевой промышленности». - М.: ИК МГУПП, 2017. – с. 196 – 199.
25. Крылова Л.А. и др. Применение Web- технологий в автоматизированных системах мониторинга / М.С. Соловьев, М.М. Благовещенская, Л.А. Крылова // Сборник материалов международной конференции «Современные биотехнологии в производстве продуктов питания». - М.: ИК МГУПП, 2017. С 254-258.
26. Крылова Л.А. и др. Экспертные системы / И.Г. Благовещенский, Е.А. Назойкин, Л.А. Крылова, В.О. Савельев// Сборник материалов международной конференции «Современные биотехнологии в производстве продуктов питания». - М.: ИК МГУПП, 2017 С 279-283.
27. Крылова Л.А. и др. Классификация интеллектуальных информационных систем / И.Г. Благовещенский, Е.А. Назойкин, В.О. Савельев, Л.А. Крылова //

Сборник материалов международной конференции «Современные биотехнологии в производстве продуктов питания». - М.: ИК МГУПП, 2017. С.283-287.

28. Крылова Л.А. и др. Экспертные системы, как направление интеллектуальных систем по созданию программно – аппаратных систем контроля и управления показателями качества пищевой продукции / И.Г. Благовещенский, Л.А. Крылова // Сборник материалов международной конференции «Современные биотехнологии в производстве продуктов питания». - М.: ИК МГУПП, 2017. С.287-294.

29. Крылова Л.А. и др. Разработка экспертной системы контроля качества в процессе приготовления кефира / В.Г. Благовещенский, Л.А. Крылова, М.Ю. Никитушкина// Сборник материалов международной конференции «Современные биотехнологии в производстве продуктов питания». - М.: ИК МГУПП, 2017. С.294-301.

30. Крылова Л.А. и др. Задача оценки степени готовности пищевых масс к формированию / В.Г. Благовещенский, М.М. Благовещенская, Л.А. Крылова А.В. Ионов// Живые системы и биологическая безопасность населения Сборник материалов XV международной научной конференции студентов и молодых ученых. 2017. С. 108-112.

31. Крылова Л.А. и др. Калориметр для контроля готовности пищевых масс к отверждению / В.Г. Благовещенский, М.М. Благовещенская, Л.А. Крылова, А.В. Ионов// Живые системы. Сборник материалов XV международной научной конференции студентов и молодых ученых. 2017. С. 112-116.

32. Крылова Л.А. и др. Подбор рекуррентных алгоритмов идентификации для адаптивной системы управления процессами пищевых производств с нестационарными и стационарными параметрами / М.М. Благовещенская, И.Г. Благовещенский, Е.А. Назойкин, Л.А. Крылова // Современное состояние и перспективы развития упаковки в пищевой промышленности Материалы Конференции с международным участием. 2018. С. 105-109.

33. Крылова Л.А. и др. Автоматизация стадий приготовления помадного сиропа при производстве пищевых изделий / В.Г. Благовещенский, Л.А. Крылова, М.Ю. Никитушкина // Современное состояние и перспективы развития упаковки в пищевой промышленности Материалы Конференции с международным участием. 2018. С. 126-129.
34. Крылова Л.А. и др. Разработка интеллектуальных аппаратно- программных комплексов мониторинга процесса сепарирования дисперсных пищевых масс на основе интеллектуальных технологий / И.Г. Благовещенский, А.В. Татаринов, Л.А. Крылова // Сборник материалов научной конференции с международным участием «Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности России: кадры и наука». Секция «Интеллектуальные технологии в управлении технологическими процессами пищевой промышленности». - М.: ИК МГУПП, 2017. – с. 199 - 201.
35. Крылова Л.А. и др. Автоматизация контроля показателей качества кефира с использованием нейросетевых технологий / И.Г. Благовещенский, Л.А. Крылова, М.М. Благовещенская // Сборник материалов II –й Международной научно- практической конференции «Химия. Био – и нанотехнологии, экология и экономика в пищевой и косметической промышленности». 8 – 10 декабря 2014 г. - Харьков.: Изд-во Национального техн. ун-та «Харьковский политехнический институт», 2014. с. 190 – 196.
36. Крылова Л.А. и др. Интеллектуальная интегрированная экспертная система мониторинга процесса производства кефира с использованием системы технического зрения / И.Г. Благовещенский, Л.А. Крылова, М.М. Благовещенская // Сборник материалов II –й Международной научно- практической конференции «Химия. Био – и нанотехнологии, экология и экономика в пищевой и косметической промышленности». 8 – 10 декабря 2014 г. - Харьков.: Изд-во Национального техн. ун-та «Харьковский политехнический институт», 2014. С. 212 – 219.
37. Крылова Л.А. и др. Разработка нейросетевой модели для управления процессом дозирования сыпучих масс / М.Г. Балыхин, И.Г. Благовещенский, Л.А.

Крылова, В.Г. Благовещенский, Л.А. Крылова// Сборник материалов конференции «Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности». М.: ИК МГУПП. 2019. С. 6-20.

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

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

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

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

42. Крылова Л.А. Функциональная схема автоматизации производства кефира // Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности. Сборник материалов конференции. М.: 2019. С. 115-120.

43. Крылова Л.А. и др. Повышение качества идентификации и позиционирования объекта на цифровых стереоизображениях при помощи алгоритмов по-

строения карты глубины / А.Н. Петряков, М.М. Благовещенская, В.Г. Благовещенский, Л.А. Крылова, В.В. Митин, И.Г. Благовещенский // Сборник материалов конференции «Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности». М.: ИК МГУПП. 2019. С. 133-138.

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

45. Крылова Л.А. 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.

46. Крылова Л.А. 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.

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

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. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Батищев, Д. И. Применение генетических алгоритмов к решению задач дискретной оптимизации: учеб. пособие / Д. И. Батищев, Е. А. Неймарк, Н. В. Старостин. — Нижний Новгород : Изд-во Нижегородского госуниверситета, 2006. — 136 с.
8. 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.
9. Благовещенская М.М. Основы стабилизации процессов приготовления многокомпонентных пищевых масс: монография. – М., 2009. – 281 с.
10. 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.
11. 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.

12. Благовещенская М.М., Давыдова Г.Р., Семина Н.А., Благовещенский И.Г. Использование интеллектуальных технологий для контроля качества твора. // «Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий», №2, 2014. – с. 83 - 90.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. Благовещенский В. Г. Использование методов визуальной корреляции для анализа данных от различных источников // Цифровизация агропромышленного комплекса. Сборник научных статей. Тамбов. 21 – 23 октября 2020 Том I. 87-92 с.
17. Благовещенский В.Г. Разработка программно-аппаратного комплекса мониторинга производства халвы. Книга - Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности России: кадры и наука. 2017. С. 196-199.
18. 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.

19. 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.
20. 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.
21. 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.
22. Благовещенский И.Г., Троицкий А.К. Формализация исходных изображений с целью выделения информации для обработки цифровых видеокладов 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.
23. 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.

24. Богоявленская О. Исследования прошлых лет: поправим здоровье. Обзор рынка кисломолочной продукции // 4p.ru Маркетинг журнал. 2003. С. 32-38.
25. Борзенко И.М. Адаптация, прогнозирование и выбор решений в алгоритмах управления технологическими объектами. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 144 с.
26. 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.
27. Будет утро здоровей с чашкою кефира. Обзор российского рынка молочной продукции. Исследования маркетингового агентства Step by Step // Russian Food & drinks, 2008, №2. С. 12-15.
28. Буряк Д. Ю. Метод автоматизированного конструирования процедур анализа изображений с использованием генетических алгоритмов: Дис.... канд. физ.-мат. наук: 05.13.11/ М., 2004
29. Бутковский А.Г. Методы управления в системах с распределенными параметрами. - М.: Наука, 1975.
30. 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.
31. Вороновский, Г. К. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности : монография / Г. К. Вороновский — Харьков : Основа, 1997. — 111 с.
32. Восьмиренко, 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.
33. Втюрин В. А. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. Основы АСУТП : учеб. пособие / В. А. Втюрин. — СПб: СПбГЛТА, 2006. — 152с.

34. Галушкин А. И. Нейронные сети: основы теории: монография / А. И. Галушкин. — М. : Горячая линия - Телеком, 2012. — 496 с.
35. Гилл Ф., Мюррей У., Райт М. Практическая оптимизация. — М.: Мир, 1985. - 509 с.
36. Гитис Л.Х. Кластерный анализ в задачах классификации, оптимизации и прогнозирования. — М.: Издательство Московского государственного университета, 2001. — 104 с.
37. Глазачев В.В. Технология кисломолочных продуктов // Изд-во "Пищевая промышленность", 1998г. — 142 с.
38. Гнеушев А. Н. Математическое моделирование выделения признаков видеоизображения в реальном масштабе времени: Дис. ... канд. физ.-мат. наук : 05.13.18/ Прософт. — М., 2006.
39. Голубева Л.В., Богатова О.В., Догарева Н.Г. Практикум по технологии молока и молочных продуктов. Технология цельномолочных продуктов. // Лань. 2000. 380 с.
40. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. — М.: "Техносфера", 2006. — 616 с.
41. 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.
42. Горбань А.Н. Обучение нейронных сетей. — М.: СП "ParaGraph", 1990.
43. ГОСТ 31454-2012 Межгосударственный стандарт. КЕФИР. Технические условия.
44. ГОСТ 52093-03 Органолептические показатели кефира. Кефир. Технические условия.
45. ГОСТ 31986-2012. Межгосударственный стандарт. Услуги общественного питания. Метод органолептической оценки качества продукции общественного питания.

46. ГОСТ 3623-73 Молоко и молочные продукты. Методы определения пастеризации.
47. ГОСТ 3626-73 Молоко и молочные продукты. Методы определения влаги и сухого вещества.
48. ГОСТ 5867-90 Молоко и молочные продукты. Методы определения жира.
49. ГОСТ 32925-2014 Кефир для детского питания. 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. Донская Г.А., Фридберг Г.В. Эффективные технологии использования молочной сыворотки // Молочная промышленность, 2009, №12. С. 3840.
54. Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления: Перевод с английского – Лаборатория базовых знаний, 2002.
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 формирования 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 формирования конфетных масс на основе математического и алгоритмического обеспечения с использованием в качестве интеллектуального датчика цифровой видеокамеры (ЦВК) //Материалы первой международной научно- практической конференции – выставки «Планирова-

ние 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. Кефирный переворот // Молочная промышленность, 2009, №9. С. 4042.
63. Кравченко Э.Ф. Экологические и экономические аспекты переработки молочной сыворотки // Молочная промышленность, 2006, №6. С. 2021.
64. 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.
65. Краснов А.Е. и др. Видеоспектрометр для экспресс- контроля пищевых сред и готовых продуктов. Монография. Издательство: Лань. 2019. 143 с.
66. 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.

67. 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.
68. Кротов В.Ф., Гурман В.И. Методы и задачи оптимального управления. – М.: Наука, 1973. – 446 с.
69. 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.
70. Крусь Г.Н., Чекулаева Л.В., Шалыгина Г.А., Ткаль Т.К. Технология молочных продуктов. М.: Агропромиздат, 1988. С. 329-332.
71. Крючкова В.В. Пребиотики в функциональных кисломолочных продуктах // Молочная промышленность, 2009, №7. С. 34-36.
72. Крылов А.В. О проблемах организации экспертизы. // Проблемы полиграфии и издательского дела. – 2006. - №4. – С.117- 122.
73. Крылова Л.А., Благовещенский В.Г., Татаринов А.В. Разработка интеллектуальных аппаратно-программных комплексов мониторинга процессов сепарирования дисперсных пищевых масс на основе интеллектуальных технологий. В книге: Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности России: кадры и наука. 2017. С. 199-201.
74. 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.
75. Лазарев, В.М. Нейросети и нейрокомпьютеры: монография / В. М. Лазарев, А. П. Свиридов. — М. :МИРЭА, — 2011. — 131 с.
76. Марголин Е. Методика обработки данных экспертного опроса. // Полиграфия . – 2006. - №5 - С. 14 – 16.
77. 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.

78. 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 изд., перераб. и доп. – М.: КолосС, 2009. – 610 с.
79. Меркулова Н. Г. и др. Маркировка молочной продукции. // Профессия. 2021. - 224 с.
80. 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.
81. Методы компьютерной обработки изображений / Под ред. В.А. Сойфера. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 784 с.
82. 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.
83. Наджафи М. М. Проекционный метод решения некоторых задач обработки и анализа изображений: Дис.... канд. физ.-мат. наук : 05.13.18. - М., 2004. – 148 с.
84. Нестеров А.Л. Проектирование АСУТП. Методическое пособие. Книга 1 – СПб.: Деан, 2006.
85. 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.
86. Николаев, А.Б. Нейросетевые методы анализа и обработки данных: учеб. пособие / А. Б. Николаев, И. Б. Фоминых. - М. : МАДИ (ГТУ), 2003. - 95 с.
87. 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

88. 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.
89. Олссон Г., Пиани Д. Цифровые системы автоматизации и управления – СПб.: Невский диалект, 2001.
90. 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.
91. Патент RU 2196432 Композиция для приготовления кисломолочного продукта геродиетического питания / Липатов Н.Н. и др., заявитель и патентообладатель Гос. науч. учреждение «НИИ детского питания РАСХ». №2001118108/13; заявл. 29.06.2001; опубл. 20.01.2003.
92. Патент RU 2231956 Способ производства кисломолочного продукта / Артюхова С.И. и др., патентообладатель ГОУ «Омский государственный аграрный университет». №2002123008/13; заявл. 27.08.2002; опубл. 10.07.2004.
93. Патент RU 2286062 Способ производства кисломолочного продукта / Петров А.Н., Галстян А.Г., патентообладатель ГНУ ВНИМИ. №2003137735/13; заявл. 30.12.2003; опубл. 10.06.2005.
94. Патент RU 2409962 Способ производства кефирного напитка / Бараников А.И. и др., заявитель и патентообладатель ФГО ВПО «Донской государственный аграрный университет». №2009126328/10; заявл. 08.07.2009; опубл. 27.01.2011.
95. Петров А.Ю., Благовещенская М.М., Благовещенский В.Г., Ионов А.В., Благовещенский И.Г. Главные принципы при построении системы ком-

пьютерного зрения в хлебопекарной промышленности // Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности. Сборник материалов конференции. 2019. С. 121-126.

96. 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.
97. 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.
98. Подлегаева, Т. В. Методы исследования свойств сырья и продуктов питания : учеб. пособие / Т. В. Подлегаева, А. Ю. Просеков. — Кемерово : КемТИПП, 2004. — 101 с.
99. Пожарникова, Е. Н. Сенсорный анализ продовольственных товаров: курс лекций / Е. Н. Пожарникова, Н. А. Феоктистова, Д. А. Васильев. — Ульяновск : УГСХА, 2008. — 87 с.
100. 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.
101. Рейер И. А. Методы анализа формы изображений на основе непрерывного гранично-скелетного представления: Дис. ... канд. техн. наук: 05.13.11/ М., 2004. – 168 с.
102. Родина Т.Г., Вукс Г.А. Дегустационный анализ продуктов. – М.: Колос, 1994. – 128 с.
103. Родионов Г. В., Остроухова В. И., Табакова Л. П. Технология производства молока. // Лань. 2021. 236 с.

104. Родионов Г. В., Остроухова В. И., Табакова Л. П. Технология производства и оценка качества молока // Лань. 2021. – 140 с.
105. 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.
106. 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.
107. 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.
108. 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.
109. Тихомирова Н. А. Технология и организация производства молока и молочных продуктов. // ДеЛи принт. 2007. 282 с.
110. Трухачев В. И. и др. Молоко: состояние и проблемы производства. // Лань. 2018. - 300 с.
111. Харитонов В.Д., Рожкова И.В., Семенихина В.Ф., Макеева И.А. Какой продукт следует называть кефиром // Молочная промышленность, 2010, №4. С. 57-58.
112. Фисенко В.Т. Компьютерная обработка и распознавание изображений: Учеб. пособие / В.Т. Фисенко, Т.Ю. Фисенко. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. – 192 с.
113. Форсайт Д.А., Понс Ж. Компьютерное зрение. Современный подход. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2004. – 928 с.

114. Фролов А. А. Нейронные модели ассоциативной памяти / А. А. Фролов, И. П. Муравьев. — М. : Наука, 1987. — 159 с.
115. Хайкин С. Нейронные сети / Саймон Хайкин. Пер. с англ. — 2-е изд. — М.: Вильямс, 2006. — 1103 с.
116. Хамханова Д. Н. Исследование качества алгоритмов обработки качественной информации : Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.11.15. - СПб., 2002. — 24 с.
117. 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.
118. Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 752 с.
119. 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.
120. 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 Валеовна. — Воронеж, 2013. — 242 с.
121. Хассан Г. Проектирование систем реального времени, параллельных и распределенных приложений / Гома Хассан. – М.: ДМК, 2002. – 704 с.
122. Цымбал Д.А. Многоканальная нейросетевая модель системы компьютерного зрения для задач текстурной сегментации: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.18. – Великий Новгород, 2005. – 21 с.
123. Чаплыгин А.А. Метод и устройство визуализации пространственно распределенных образов со сложными топологическими портретами: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.05. - Курск, 2005. – 24 с.

124. Чернов Е.А. Обобщенное представление спектральных данных на плоскости для решения задач их кластеризации и распознавания/ Сб. науч. трудов IV Международной НТК «Современные информационные технологии в образовании, науке и промышленности» . - М.: МГУТУ, 2014. с. 254-256.
125. Черных И. Simulink: среда создания инженерных приложений – М.:Диалог-МИФИ, 2003.
126. Яковенко М. К. Разработка алгоритма распознавания сложных объектов на основе текстурной информации: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01. – СПб., 2003. – 24 с.
127. Яковлев А. В. Методы, модели и алгоритмы формирования и анализа изображений в системе контроля качества материалов и продукции машиностроительного предприятия: Дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01 / Про-софт. – М., 2003. – 168 с.
128. Яковлев А. В. Методы, модели и алгоритмы формирования и анализа изображений в системе контроля качества материалов и продукции машиностроительного предприятия: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01 – М., 2003. – 18 с.
129. Яне Б. Цифровая обработка изображений / Б. Яне. Пер. с англ. – М.: Тех-носфера. - 2007. - 584 с.
130. Яньков В.Ю. Решение прикладных задач в пакете Маткад / В.Ю. Янь-ков, А.А. Попов, Г.А. Бобырь. – М.: Издательство «Спутник+», 2011. – 368 с.
131. Ярославский Л.П. Введение в цифровую обработку изображений. -М.: Светское радио. - 1979. - 312 с.
132. Ясницкий Л. Н. Введение в искусственный интеллект / Л. Н. Ясницкий. – 1-е изд. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 176 с.
133. Addison, P.S. The Illustrated Wavelet Transform Handbook / P.S. Addison – IOP Publishing Ltd, 2002. – 362 p.
134. Agoston M.K. Computer Graphics and Geometric Modeling - Springer. - 2004. - 920 p.

135. Ali S.M. Gap-Filling Restoration Methods for ETM+ Sensor Images / S.M. Ali, M.J. Mohammed Iraqi Journal of Science. - 2013. - V.54, No.1. - P.206-214.
136. Ball G. H. ISODATA, a novel method of data analysis and pattern classification / G. H. Ball, D. J. Hall – STANFORD RESEARCH INST MENLO PARK CA. 1965.
137. Benediktsson J. Neural network approaches versus statistical methods in classification of multisource remote sensing data / J. Benediktsson, P. Swain, O. Ersoy // Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on. - 1990. -Vol. 28., №4. - P. 540-552.
138. Benosman, Ryad. Panoramic vision : Sensors, theory, a. Applications / Benosman Ryad, Sing Bing Kang, ed. – New York [etc.] Springer Cop. 2001. XXIV, 449 c.
139. 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. Cep. "Fundamental and Applied Problems of Mechanics, FAPM 2019" 2020. C. 012027.
140. Bottou L. Convergence Properties of the K-Means Algorithms / L. Bottou, Y. Bengio // Advances in Neural Information Processing Systems 7, [NIPS Conference, Denver, Colorado, USA, 1994]. - 1994. - P. 585-592.
141. Daliakopoulos I.N. Tree Crown Detection on Multispectral VHR Satellite Imagery / I.N. Daliakopoulos, E.G. Grillakis, A.G. Koutroulis, I.K. Tsanis // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. - 2009. - V. 75., No. 10. - pp. 1201–1211.
142. Dimitrellou D., Tsaousi K., Kourkoutas Y., Panas P., Kanellaki M., Koutinas A.A. Fermentation efficiency of thermally dried immobilized kefir on casein as starter culture // Process Biochemistry, 2008, Vol. 43. P. 1323-1329.
143. Farnworth E.R. Kefir a complex probiotic // Food Science and Technology Bulletin, 2005, Vol. 2. P. 1-17.
144. Fattal R. Upsampling via Imposed Edges Statistics // Proc. ACM SIGGRAPH. - 2007. - V.26, N.3. - p.95.

145. Fisher, R.A. The Use of Multiple Measurements in Taxonomic Problems / R.A. Fisher // *Annals of Eugenics*. – 1936 T.7. – p.p. 179-188.
146. 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.
147. Gorban, A. N. Principal Manifolds for Data Visualisation and Dimension Reduction, Series: Lecture Notes in Computational Science and Engineering / A. N. Gorban, B. Kegl, D. Wunsch, A. Y. Zinovyev. – Berlin: Springer, 2007. – 340 p.
148. Gorohov, V.L. Cognitive multidimensional data visualization in analyzing and decision support systems / V.L. Gorohov, V.A. Evdokimov, V.V. Vitkovskiy // *The Third international conference on cognitive science (abstracts volume 1)*. Moscow – 2008. – June 20–25. – 55 p.
149. Haykin S., *Neural networks a Comprehensive Foundation*, Second Edition – Prentice Hall, Inc., 1999.
150. Kohonen T., "Self-Organizing Maps", Springer, 2005.
151. Kohonen T., Huang T.S., Schroeder M.R. "Self-Organizing Maps"(Third edition), Springer, 2003.
152. Komarinskiy, S. The Cognitive Visualization System Astronomical Data Analysis Software and Systems (ADASS) XVII / S. Komarinskiy, V. Vitkovskiy, V. Gorohov, D. Zakharevski – Editors: Argyle, Robert W.; Bunclark, Peter S.; Lewis, James R. London, UK 2008. – 394 p.
153. Kwon O.K., Ahn K.S., Lee M.Y., Kim S.Y., Park B.Y., Kim M.K., Lee I.Y., Oh S.R., Lee H.K. Inhibitory effect of kefir on ovalbumin-induced lung Inflammation in a murine model of asthma // *Arch. Pharm. Res.*, 2008, Vol. 31, № 12. P. 1590-1596.
154. Labbaci A., Kyuchoukov G., Albet J., Molinier J. Detailed investigation of lactic acid extraction with tributylphosphate dissolved in dodecane // *Journal of Chemical & Engineering Data*, 2010, Vol. 55, №1. P. 228-233.

155. Lazaridou A., Biliaderis, C.G. Cryogelation of cereal β -glucans: structure and molecular size effects // *Food Hydrocolloids*, 2004, Vol. 18. P. 933-947.
156. Maeda H., Mizumoto H., Suzuki M., Tsuji K. Effects of kefiran-feeding on fecal cholesterol excretion, hepatic injury and intestinal histamine concentration in rats // *Bioscience Microflora*, 2005, Vol. 24, № 2. P. 35-40.
157. Mahnke W *OPC Unified Architecture* – Springer-Verlag, 2009.
158. Medrano M., Perez P.F., Abraham A.G. Kefiran antagonizes cytopathic effects of *Bacillus cereus* extracellular factors // *International Journal of Food Microbiology*, 2008, Vol. 122. P. 1-7.
159. Legin A., Rudnitskaya A., Vlasov Yu. In: *Integrated Analytical Systems, Comprehensive Analytical Chemistry. V. XXXIX*. Ed. S. Alegret. Amsterdam: Elsevier, 2003.
160. Newton D. E. *Food Chemistry - Facts On File*, Inc., 2007.
161. Shkapov P.M., 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.
162. Sun D.W. *Modern Techniques for food authentication* – Academic Press, 2008.
163. Trion R.G. *Cluster analysis* – L.: Ann Arbor Edwards Bros., 1997.
164. Wong M.A. A hybrid clustering method for identifying high – *JASA*, 1982.
165. 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.

Приложение 1

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по учебно- методической работе

Профессор Бикбулатова А.А.



_____ 2022 г.

АКТ О ВНЕДРЕНИИ

в учебный процесс кафедры «Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами» ФГБОУ ВО «МГУПП» материалов диссертационной работы Крыловой Ларисы Александровны по теме «Разработка моделей, методов и алгоритмов интеллектуальной адаптивной системы контроля и управления качеством кефира», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3 – 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, заведующий кафедрой Заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор Благовещенская Маргарита Михайловна и заместитель заведующего кафедрой АСУБП, кандидат технических наук, доцент Мокрушин Сергей Александрович, настоящим актом подтверждаем, что материалы диссертационной работы Крыловой Ларисы Александровны, связанные с разработкой и исследованием моделей, методов и алгоритмов интеллектуальной адаптивной системы контроля и управления качеством кефира, используются в учебном процессе, в лекционных курсах, при проведении лабораторных и практических занятий, в курсовом проектировании, при выполнении ВКР кафедры «Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами» при подготовке бакалавров направлений 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств», 15.03.06 «Мехатроника и робототехника», 27.03.04 «Управление в технических системах», а также магистров направлений 09.04.01 «Информатика и вычислительная техника» и 27.04.04 «Управление в технических системах», а именно:

- методика и этапы разработки интеллектуальной адаптивной системы контроля и управления качеством кефира с использованием методов имитационного моделирования, нейросетевых технологий, системы компьютерного зрения и эффективного сочетания этих методов и технологий;
- анализ ТП производства кефира как объекта автоматизации, выбор основных факторов, формирующих качество готового кефира;
- методы и средства физико- химического, микробиологического контроля показателей качества кефира и существующие цифровые приборы для контроля этих показателей;
- решение задачи автоматизации контроля в потоке органолептических показателей качества кефира с использованием интеллектуальных технологий;
- состояние вопроса маркировки готовой продукции кефира;
- мультиагентные имитационные модели всех основных этапов производства кефира, позволяющие выявить узкие места на различных этапах его производства;
- интеллектуальная подсистема поддержки принятия решений для автоматизации, идентификации и выявления проблемных зон производства кефира;
- структурно- параметрические и математические модели всех основных процессов производства кефира;
- функциональные схемы автоматизации всех этапов производства кефира с использованием современных интеллектуальных технологий;
- средства автоматического контроля в потоке внешнего вида, цвета, вкуса и вязкости кефира с применением нейросетевых технологий, компьютерного зрения, мультиагентного моделирования и реологических методов;
- технические решения для реализации интеллектуальной адаптивной системы контроля и управления качеством кефира с использованием автоматической идентификации ее маркировки;
- система автоматизации контроля качества нанесения маркировки на готовую продукцию кефира в бутылках, которая позволяет автоматически прямо на линии производства этой продукции провести инспекцию маркировки и механическую отбраковку изделий с нечитаемой этикеткой.

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

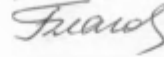
- Математическое моделирование систем и процессов
- Интеллектуальные технологии

Зам. директора института ПИИТиМ
кандидат техн. наук, доцент



Назойкин Е.А.

Зав. кафедрой АСУБП, Засл. деятель науки РФ,
доктор техн. наук, профессор



Благовещенская М.М.

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



Мокрушин С.А.

АКТ

внедрения результатов диссертационной работы
доцента кафедры «Информатика и вычислительная техника пищевых
производств» ФГБОУ ВО «Московский государственный университет
пищевых производств» Крыловой Ларисы Александровны по теме
«Разработка моделей, методов и алгоритмов интеллектуальной адаптивной систе-
мы контроля и управления качеством кефира» на АО «Жуковомолоко»

Настоящий акт подтверждает, что основные результаты диссертационной работы доцента кафедры «Информатика и вычислительная техника пищевых производств» ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств» Ларисы Александровны Крыловой на тему «Разработка моделей, методов и алгоритмов интеллектуальной адаптивной системы контроля и управления качеством кефира» использованы в производственной деятельности АО «Жуковомолоко» на линии производства кефира в виде:

1. Апробации разработанной функционально- структурной схемы (ФСС) влияния факторов исходного сырья, промежуточных операций на качество готового кефира на всех стадиях линии его производства.
2. Апробации разработанных мультиагентных имитационных моделей всех основных этапов производства кефира, позволившие выявить узкие места предприятия на различных этапах производства данного напитка.
3. Апробации разработанной интеллектуальной подсистемы поддержки принятия решений для выявления проблемных зон производства кефира
4. Рекомендаций по выбору системы технического зрения для автоматизации контроля в потоке органолептических показателей качества кефира.
5. Рекомендаций по дальнейшей модернизации технологической линии производства кефира для успешного применения интеллектуальной автоматизированной системы контроля и прогнозирования органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции на основе нейросетевых технологий, систем технического зрения, имитационных моделей и эффективного сочетания этих методов и технологий.

Использование указанных разработок позволит снизить издержки и затраты, связанные с технологическим циклом производства кефира при гарантированном качестве продукта, существенно снизить риск ошибок, обусловленных «человеческим фактором».

Генеральный директор
АО «Жуковомолоко»



Я.М.Савинов

Контактные данные:

Адрес предприятия

249190, КАЛУЖСКАЯ ОБЛАСТЬ, м.р-н ЖУКОВСКИЙ, г ЖУКОВ, ул СОВЕТСКАЯ, д. 86

АО «Жуковомолоко»

Телефон: 8 (48432) 5-43-94

Электронная почта: gukovomoloko@mail.ru

АКТ

результатов внедрения диссертационной работы
доцента кафедры «Информатика и вычислительная техника пищевых
производств» ФГБОУ ВО «Московский государственный университет
пищевых производств» Ларисы Александровны Крыловой по теме
«Разработка моделей, методов и алгоритмов интеллектуальной адаптивной
системы контроля и управления качеством кефира» на Гжельском подворье

Настоящий акт подтверждает, что основные результаты диссертационной работы доцента кафедры «Информатика и вычислительная техника пищевых производств» ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств» Ларисы Александровны Крыловой на тему «Разработка моделей, методов и алгоритмов интеллектуальной адаптивной системы контроля и управления качеством кефира» использованы в производственной деятельности Гжельского подворья на линии производства кефира в виде:

1. Апробации разработанной функционально-структурной схемы (ФСС) влияния факторов исходного сырья, промежуточных операций на качество готового кефира на всех стадиях линии его производства.
2. Математических моделей объекта управления с учетом взаимосвязей технологических и режимных параметров в виде многосвязной системы.
3. Рекомендаций по выбору системы технического зрения для автоматизации контроля в потоке органолептических показателей качества кефира.
4. Рекомендаций по дальнейшей модернизации технологической линии производства кефира для успешного применения интеллектуальной автоматизированной системы контроля и прогнозирования органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции на основе нейросетевых технологий, систем технического зрения, имитационных моделей и эффективного сочетания этих методов и технологий.

Использование указанных разработок позволит снизить издержки и затраты, связанные с технологическим циклом производства кефира при гарантированном качестве продукта, существенно снизить риск ошибок, обусловленных «человеческим фактором».

Директор

Контактные данные:



А.Е. Паршикова

140145 Московская область, Раменский район, с. Гжель, ул. Новая. 26
Гжельское подворье
Телефон: +7 (925) 895-13-97
Электронная почта: milkvillage@mail.ru