

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

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Воронеж – 2022

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

Научный руководитель: **Благовещенская Маргарита Михайловна**
Заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», кафедра «Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами», заведующий кафедрой

Официальные оппоненты: **Дворецкий Станислав Иванович,**
Заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», кафедра «Технологии и оборудование пищевых и химических производств», профессор

Лабутин Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет», кафедра технической кибернетики и автоматизации, профессор

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

Защита состоится «21» декабря 2022 г. в 13 час.00 мин. на заседании диссертационного совета Д 24.2.287.01 при ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» по адресу: 394000, г. Воронеж, пр. Революции, д.19, (конференц-зал).

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах), заверенные гербовой печатью учреждения, просим направлять по адресу 394036, г. Воронеж, пр. Революции, д.19, ФГБОУ ВО «ВГУИТ», ученому секретарю диссертационного совета Д 24.2.287.01. Автореферат размещен в сети Интернет на официальных сайтах Высшей аттестационной комиссии при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации <https://vak3.ed.gov.ru> и ФГБОУ ВО «ВГУИТ» <http://www.vsuet.ru> «14» октября 2022 г.

С диссертационной работой можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВО «ВГУИТ». Полный текст диссертации размещен в сети Интернет на официальном сайте ФГБОУ ВО «ВГУИТ» <http://www.vsuet.ru> «07» октября 2022 г.

Автореферат разослан «21» октября 2022 г.

Ученый секретарь совета по защите диссертаций
на соискание ученой степени кандидата наук,
на соискание ученой степени доктора наук Д 24.2.287.01

А.В. Иванов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

В настоящее время кефир – это один из наиболее популярных в нашей стране отечественных кисломолочных напитков, который пользуется повышенным спросом у населения. Этому способствует развитие интереса к диетическому и здоровому питанию. 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.

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. Поэтому важна разработка моделей, методов и алгоритмов, а затем создание на их базе интеллектуальной адаптивной 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 актуальным направлением развития молочной промышленности, имеющей важное народнохозяйственное значение.

Диссертация соответствует паспорту специальности 2.3.3, а именно пунктам: 2. Методология, научные основы и формализованные методы построения автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) и производствами (АСУП), а также технологической подготовкой производства (АСТПП) и т. д.; 4. Теоретические основы, средства и методы промышленной технологии создания АСУТП, АСУП, АСТПП и др.; 5. Научные основы, модели и методы идентификации производственных процессов, комплексов и интегрированных систем управления; 14. Теоретические основы, методы и алгоритмы интеллектуализации решения прикладных задач при построении АСУ широкого назначения (АСУТП, АСУП, АСТПП и др.); 19. Цифровизация управления в промышленности, функциональное моделирование объектов автоматизации.

Цель работы и задачи исследования.

Целью настоящей диссертационной работы является создание интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кефира с использованием нейросетевых технологий, системы компьютерного зрения и мультиагентного моделирования.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи исследования**:

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 контроля показателей качества кефира.

3. Исследование возможности и способов автоматического контроля в потоке 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 и на предприятиях молочного производства.

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.

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 данных и 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.

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 методологические основы создания и формирования интеллек-

туальной 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, используемый 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 технологических процессов 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 систем компьютерного зрения, нейросетевых технологий и реологических методов;
- 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 и знаний, 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 системы контроля и управления качеством кефира на основе нейросетевых систем, мультиагентных технологий, систем компьютерного зрения и реологических методов.
- 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.

Разработанные методы, модели, алгоритмы, способы и программы прошли апробацию и были переданы для внедрения на молочных предприятиях: АО «Жуковомолоко» и «Гжельское подворье», что подтверждается соответствующими актами внедрения научно-технической продукции.

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 НПК «Цифровизация Агропромышленного комплекса», Тамбов, 2020; II международной конференции- выставке «Фабрика будущего», МГУПП, 2020; II научно-практической конференции с международным участие «Устойчивое развитие: сектор упаковки», МГУПП, 2020; Cjnference Series. Ser. «International Meeting – Fundamental and Applied Problems of Mechanics», Bauman Moscow State Technical University, 2019; I НПК с международным участием «Передовые пищевые технологии: состояние, тренды, точки роста», МГУПП, 2018; I Международной конференции – выставке «Фабрика будущего», МГУПП, 2018; X Всероссийской конференции молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям, Кемерово, 18 – 19 сентября 2017 г., ИВТ СО РАН; XXXIV Международной НПК «Перспективы развития информационных технологий», Новосибирск, 2017; II Международной НПК «Информационная безопасность и компьютерные технологии», Украина, г. Кропивницкий, 2017; XXI Международной НПК «Системный анализ в проектировании и управлении», Санкт-Петербург, 2017; II Международной НПК «Автоматизация и управление технологическими и бизнес – процессами пищевой промышленности», 21 – 23 ноября 2016 г., МГУПП; Международной НПК «Автоматизация и управление технологическими и бизнес – процессами пищевой промышленности», 15 – 17 апреля 2015 г., МГУПП; X Всероссийской конференции молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям, Кемерово, 18 – 19 сентября 2013г., ИВТ СО РАН; X Международной НПК "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 АСУБП и ИиВТПП 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, 3 приложения.

Краткое содержание работы

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, определены цель и задачи исследования, показаны научная новизна и практическая значимость полученных результатов, приводится список конференций, где апробировались результаты работы.

Первая глава посвящена анализу технологического процесса производства кефира как объекта автоматизации. В рамках этой главы 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, которые показали, что к настоящему времени датчиков автоматического контроля органолептических показателей кефира в потоке не имеется. Поставлена задача автоматизации контроля в потоке основных органолептических показателей качества кефира с использованием интеллектуальных технологий.

Рассмотрена возможность применения нейросетевых технологий, мультиагентного моделирования и систем компьютерного зрения в составе интеллектуальной системы контроля и управления качеством кефира. Показана необходимость создания средств автоматизации контроля качества нанесенной маркировки

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

Вторая глава посвящена описанию экспериментальных исследований и разработке на их базе имитационных и структурно-параметрических моделей основных этапов процессов производства кефира.

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

Основное производство кефира на молочном предприятии состоит из трех участков: аппаратно-сырьевой цех; участок розлива и упаковки; участок хранения готовой продукции кефира. Структура производства кефира как логико-математического объекта управления показана на рисунке 2.1.



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

Проведенный анализ технологического процесса производства кефира на молочном предприятии позволил перейти к созданию 3D моделей всех этапов процесса производства кефира.

Для разработки мультиагентной имитационной модели производства кефира была выбрана среда AnyLogic, важным дополнением которой является наличие библиотеки моделирования процессов, осуществлен выбор оптимальных технологических и режимных параметров их работы. Экспериментальные исследования проводились в виртуальном пространстве с применением технологий имитационного моделирования. При проведении экспериментов варьировались технологические и режимные параметры производства, что позволило в короткие сроки и без лишних затрат выявить узкие места для достижения более рационального использования ресурсов производства.

Проанализирована структура цехов производства кефира как логико-математического объекта имитационного моделирования. Пример схемы работы всей модели подготовки сырья к производству кефира представлен на рисунке 2.2.

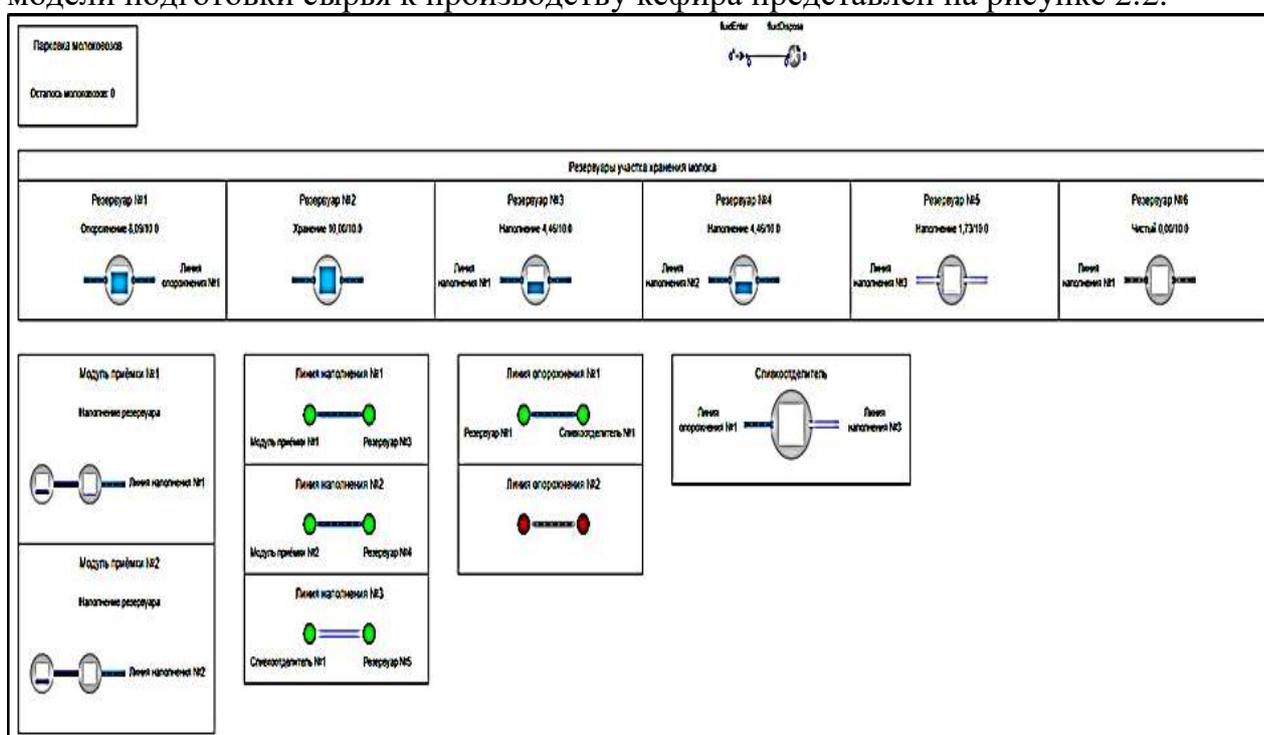


Рисунок 2.2 Схема работы всей модели подготовки сырья к производству кефира

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

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

Разработана потоковая диаграмма взаимосвязи разных цехов и потоков сырья при производстве кефира, позволяющая установить взаимосвязи разных цехов и потоков сырья при производстве этого напитка (рисунок 2.3).

Анализ взаимосвязи цехов и потоков сырья между ними, разработка моделей процесса приемки молока, моделирование участков обработки, хранения и переработки молока позволили разработать потоковую диаграмму процесса производства кефира, представленную на рисунке 2.4.

Потоковая диаграмма осуществляет имитацию работы оборудования при производстве кефира.

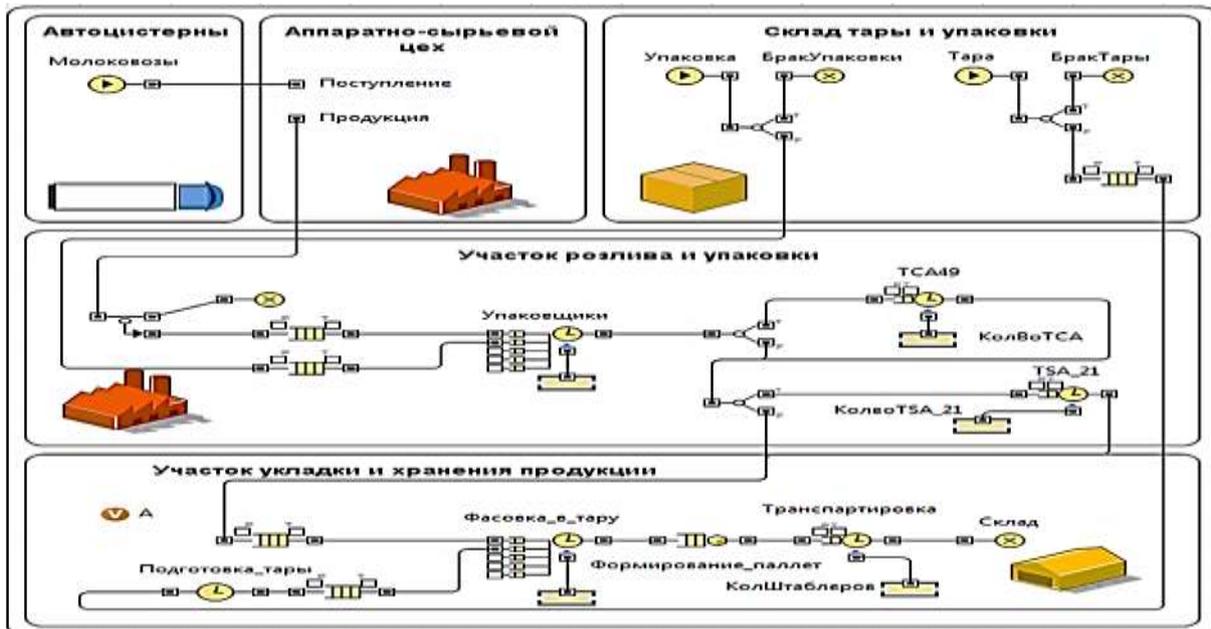


Рисунок 2.3 Потоковая диаграмма взаимосвязи разных цехов и потоков сырья при производстве кефира

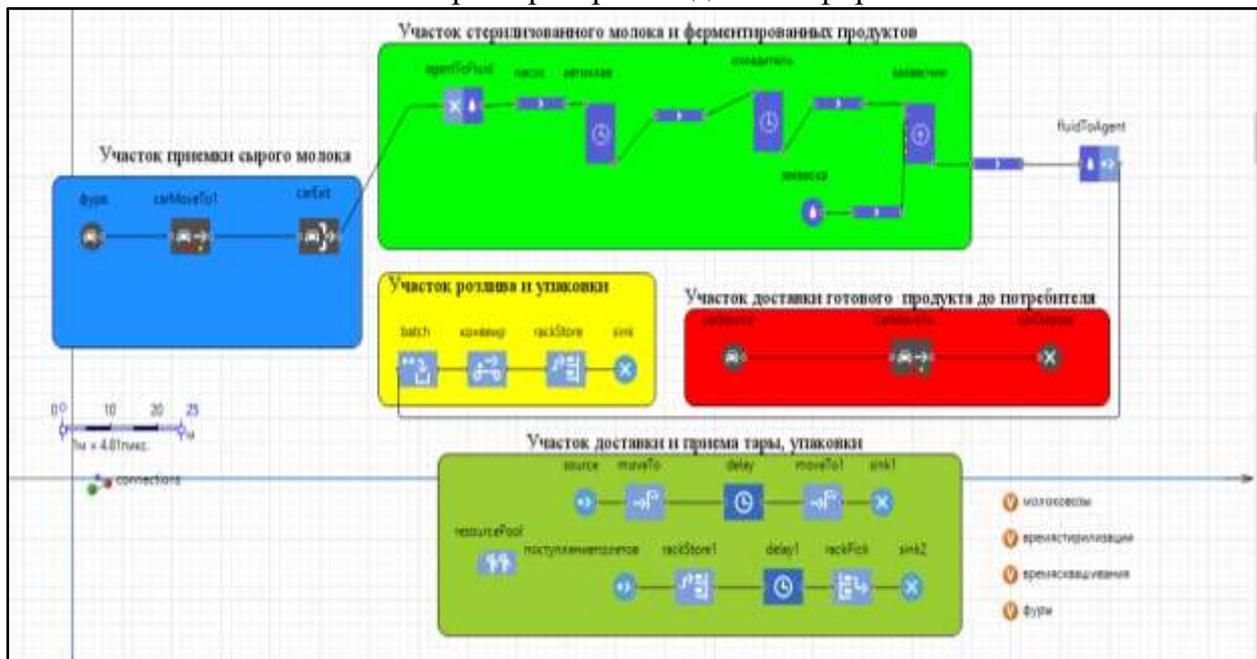


Рисунок 2.4 Потоковая диаграмма процесса производства кефира

На рисунке 2.5 представлена структурная схема модели процесса производства кефира 2D вида, позволяющая проверить работоспособность данной модели.

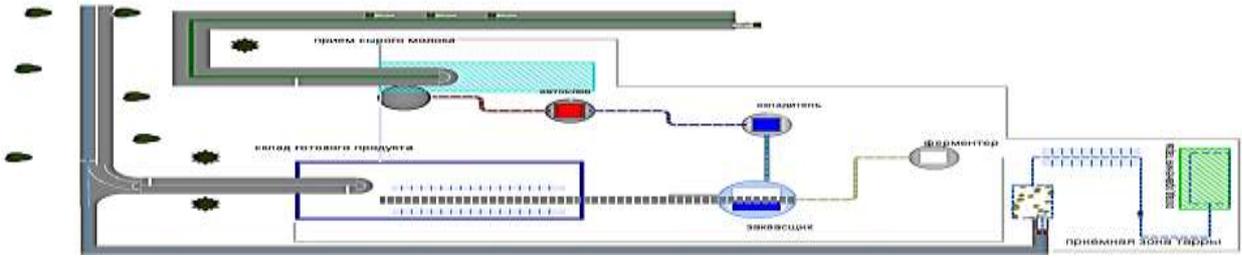


Рисунок 2.5 Структурная схема модели процесса производства кефира 2D вида
 На рисунке 2.6 представлена структурная схема модели процесса производства кефира 3D вида.

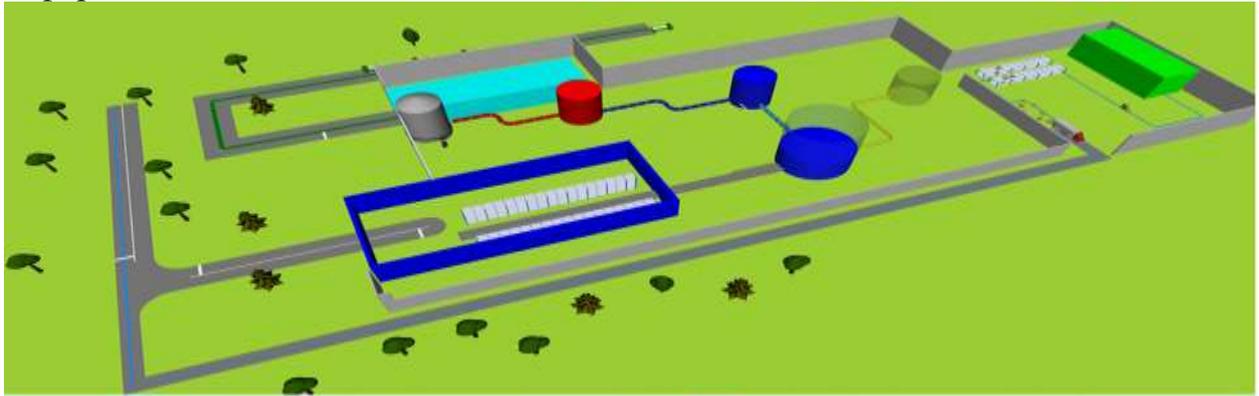


Рисунок 2.6 Структурная схема модели процесса производства кефира 3D вида
 Разработана структурная схема мультиагентной имитационной модели всего производства кефира (рисунок 2.7).

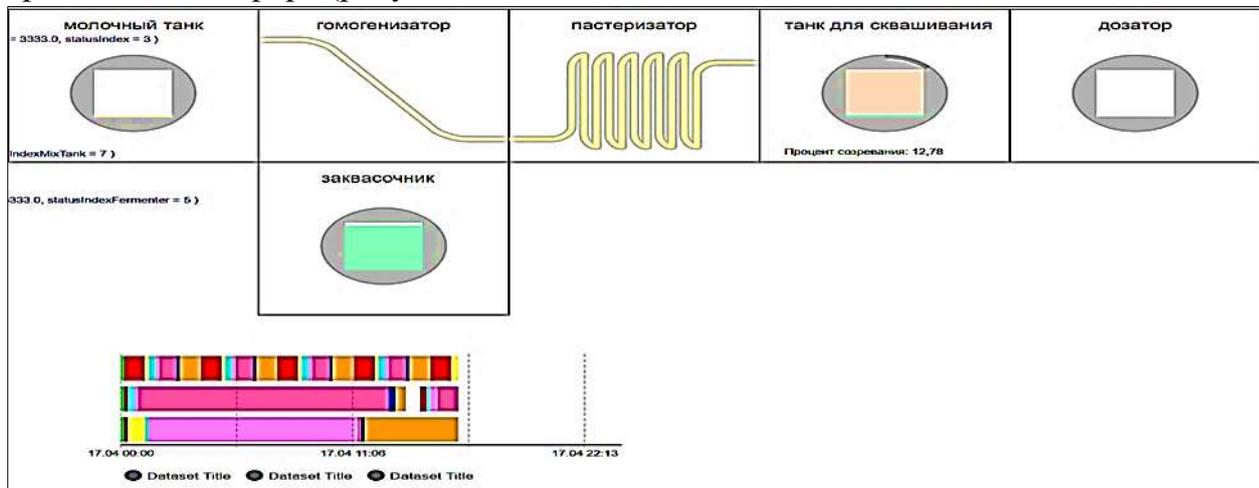


Рисунок 2.7 Структурная схема мультиагентной имитационной модели производства кефира

Варьируя технологическими и режимными параметрами производства кефира в заданных границах, были проведены экспериментальные исследования с разработанной мультиагентной имитационной моделью, направленные на совершенствование исследуемого производственного процесса и его виртуальное тестирование. Анализ полученных результатов позволил выявить узкие места на различных этапах производства кефира.

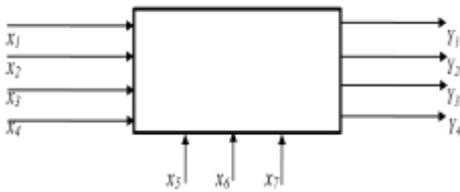
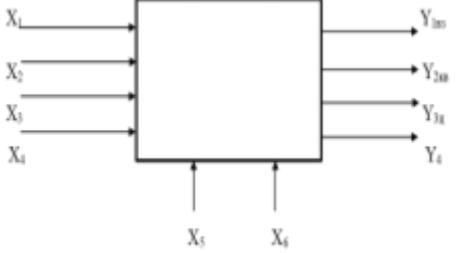
Разработанная модель производства кефира позволяет: производить различные изменения в структуре линии производства кефира и анализировать интересующие нас показатели; оценивать устойчивость и работоспособность используемого оборудования на длительном промежутке времени, при непрерывном производстве, тем

самым выявлять слабые места производственной линии; имитировать модернизацию производства, не осуществляя серьезных финансовых затрат.

Преимущество разработанной имитационной модели также заключается в контроле большого числа факторов и параметров, что позволяет оптимизировать выпускаемый объем продукции. Также достоинствами данной модели являются: возможность проведения экспериментов, которые дадут полное представление о будущем производстве; уменьшить затраты, себестоимость и время при проектировании; минимизировать ошибки в расчетах; проводить обширные эксперименты над моделью производства в виртуальном пространстве.

Проведенные экспериментальные исследования и полученные на молочных комбинатах статистические данные, позволили выполнить структурно – параметрическое моделирование (*СПМ) и разработать параметрические модели всех основных стадий производства кефира: приемка молока; охлаждение молока; нормализация молока по жиру; гомогенизация; пастеризация; заквашивание, сквашивание и созревание кефира; розлив кефира (таблица 2.1).

Таблица 2.1

Стадии производства кефира	Структурно-параметрические модели	
Приемка молока		$Y1_{вз} = 0,54X1 + 0,48X2 + 0,67X3 - 0,72X4 + 0,64X5 + 0,42X7$ $Y2_{кв} = 0,65X1 + 0,54X2 + 0,73X3 + 0,82X5 + 0,46X6 + 0,48X7$ $Y3_{ц} = 0,38X2 + 0,72X5 + 0,37X6$ <p> $X1$ – вязкость молока (1,5-2,1 м Пас при t 20°C) (μ); t – температура молока (4- 6°C) ($X2$); $X2$ – плотность молока (1024-1028 кг/м³) (η); $X4$ – кислотность молока (16-190Т) (ОВП); $X5$ – массовая доля жира (3,4 – 3,9 %) (Ж); $X6$ – время перемешивания (240 - 360 мин) (τ); $X7$ - количество оборотов мешалки в емкости для сырого молока (50-60 в минуту) (n); $Y1_{вз}$ – вкус и запах сырого молока, поступающего на производство кефира (1 – 5 баллов); $Y2_{кв}$ – консистенция и внешний вид сырого молока, поступающего на производство кефира (1 – 3 балла); $Y3_{ц}$ – цвет сырого молока, поступающего на производство кефира (1 – 2 балла). </p>
Охлаждение молока в пастеризационно-охлаждающей установке		$Y1_{вз} = 0,87X1 + 0,76X2 - 0,44X4 + 0,64X5$ $Y2_{кв} = 0,82X2 - 0,62X4$ $Y3_{ц} = 0,78X3 - 0,32X4$ $Y4_{т} = 0,22X4 + 0,72X5 + 0,47X6$ <p> $X1_{вз}$ – вкус и запах сырого молока, (1 – 5 баллов); $X2_{кв}$ – консистенция и внеш. вид молока, (1 – 3 балла); $X3_{ц}$ – цвет сырого молока, (1 – 2 балла); $X4$ – температура молока на входе (t 5- 10°C); $X5$ – температура хладоносителя (0- 1°C); $X6$ – расход хладоносителя G (20 – 25 кг/ч на); $Y1_{вз}$ – вкус и запах охл. молока, (1 – 5 баллов); $Y2_{кв}$ – консистенция и внешний вид охл. молока (1 – 3 балла); $Y3_{ц}$ – цвет охл. молока (1 – 2 балла); $Y4_{т}$ – температура молока на выходе (t 2- 6°C). </p>
Нормализация молока по жиру		$Y1_{жн} = 0,72X1 - 0,64X2 + 0,84X3 + 0,68X4 + 0,54X5$ <p> $X1$ – Q_m - расход нормализуемого молока, кг/ч; $X2$ – Q_o - расход обезжиренного молока, кг/ч; $X3$ – Q_n – расход нормализованного молока, кг/ч; $X4$ – $Ж_m$ – жирность исходного молока, % ; $X5$ – $Ж_o$ – жирность обезжиренного молока, % ; </p>

		$Y_{1жн} - Жн$ - жирность молока, % (3,2; 2,5; 1,0).
Процесс гомогенизации		$Y_{1жш} = -0,82X_1 + 0,88X_2 - 0,79X_3 + 0,74X_4 + 0,45X_5 - 0,76X_6 + 0,58X_7 + 0,84X_8 + 0,84X_9$ $Y_{2вм} = -0,76X_1 + 0,96X_2 - 0,62X_3 + 0,81X_4 + 0,24X_5 + 0,62X_6 - 0,73X_7 + 0,84X_8 + 0,84X_9$ X_1 – входная температура молока, 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/м ³); X_5 – давление при гомогенизации от 10 до 20 МПа X_6 – время гомогенизации τ (от 18 до 25 минут) X_7 – температура процесса гомогенизации (50-73)°C. X_8 – титруемая кислотность Т от 16 до 20°Т; X_9 – массовая доля жира (2,5 – 3,5%); $Y_{1жш}$ – величина жировых шариков 0,45 - 1,00 мкм; $Y_{2вм}$ – выходная вязкость молока, η (0,8 - 1,2 Пас)
Процесс заквашивания, сквашивания и созревания кефира		$Y_{1к} = 0,54X_1 + 0,46X_2 + 0,62X_3$ $Y_{2т} = 0,65X_4 - 0,76X_5 - 0,59X_6 - 0,68X_7 - 0,76X_8$ $Y_{3ж} = 0,47X_4 + 0,43X_5 + 0,57X_6 + 0,65X_7 + 0,87X_8$ $Y_{4оп} = 0,56X_1 + 0,66X_2 + 0,79X_3 + 0,46X_4 + 0,59X_5 + 0,68X_6 + 0,57X_7 + 0,69X_8$ X_1 – объем поступающего молока V т/час (7,5-8т/час); X_2 – вх. температура молока t 0C (63 – 67 0C); X_3 – соотношение закваски и молока (5 : 100); X_4 – кол. оборотов мешалки n (50-60 об. в мин.) X_5 – температура сквашивания t 0C (23-30 оC) X_6 – время сквашивания молока τ (10 - 15 час.) X_7 – время перемешивания τ (10 - 15 мин.) X_8 – вязкость закваски (1,5-2,1 м Пас при t 20°C) $Y_{1к}$ – кислотность кефира, К °Т (90 – 100° Тернера); $Y_{2т}$ – температура кефира t °C (12- 16°C); $Y_{3ж}$ – массовая доля жира Ж, % (3,4 – 3,9 %); $Y_{4оп}$ – качество (вкус, запах, консистенция, внешний вид и цвет) готового кефира (1 – 10 баллов)
Процесс розлива и укупоривания готового кефира		$Y_1 = 0,54X_1 - 0,73X_2 + 0,74X_3 + 0,66X_4 - 0,78X_5 + 0,78X_6 + 0,39X_7 + 0,58X_8 + 0,78X_9 + 0,87X_{10} + 0,47X_{11} + 0,55X_{12}$ $Y_2 = 0,87X_1 + 0,47X_2 + 0,55X_3$ X_1 – вх. температура кефира, t 0C (1 – 8 0C); X_2 – реологические свойства готового кефира μ (от 4x10-2 Пас до 32x10-2Пас); 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 HDPE 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 – вых. температура готовой продукции t 0C (12 – 16 0C).

Проведена оценка диапазонов изменения значений, представленных в таблице 2.1, входных и выходных параметров, для обеспечения стабилизации производства и получения высокого качества готового кефира.

Разработаны функциональные схемы автоматизации (ФСА) всех этапов производства кефира. Разработанные имитационные и параметрические модели, а также ФСА всех этапов производства являются основой создания интеллектуальной адаптивной системы контроля и управления качеством кефира.

Третья глава посвящена использованию интеллектуальных технологий для создания средств автоматического контроля в потоке основных органолептических показателей качества готового кефира, к которым относятся: внешний вид, цвет, вкус и консистенция.

Проанализированы возможности использования интеллектуальных технологий для автоматического контроля основных органолептических показателей качества кефира. Выявлено, что для автоматизации контроля внешнего вида и цвета готового кефира целесообразно применение системы компьютерного зрения. Для автоматизации вкуса кефира перспективно использование нейросетевых технологий. И для автоматического контроля консистенции, создания систем автоматического регулирования и управления процессами производства все шире и шире применяют методы вискозиметрии.

На рис. 3.1. представлена 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

Разработанный модуль с установленной программой обработки видеок кадров, оценивает внешний вид и цвет исследуемых масс, что позволяет судить об этих важнейших органолептических показателей качества готового 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. Разработана методика и алгоритмы обработки и анализа изображений внешнего вида и цвета кефира. На рисунке 3.2. представлен алгоритм обработки и анализа изображений.

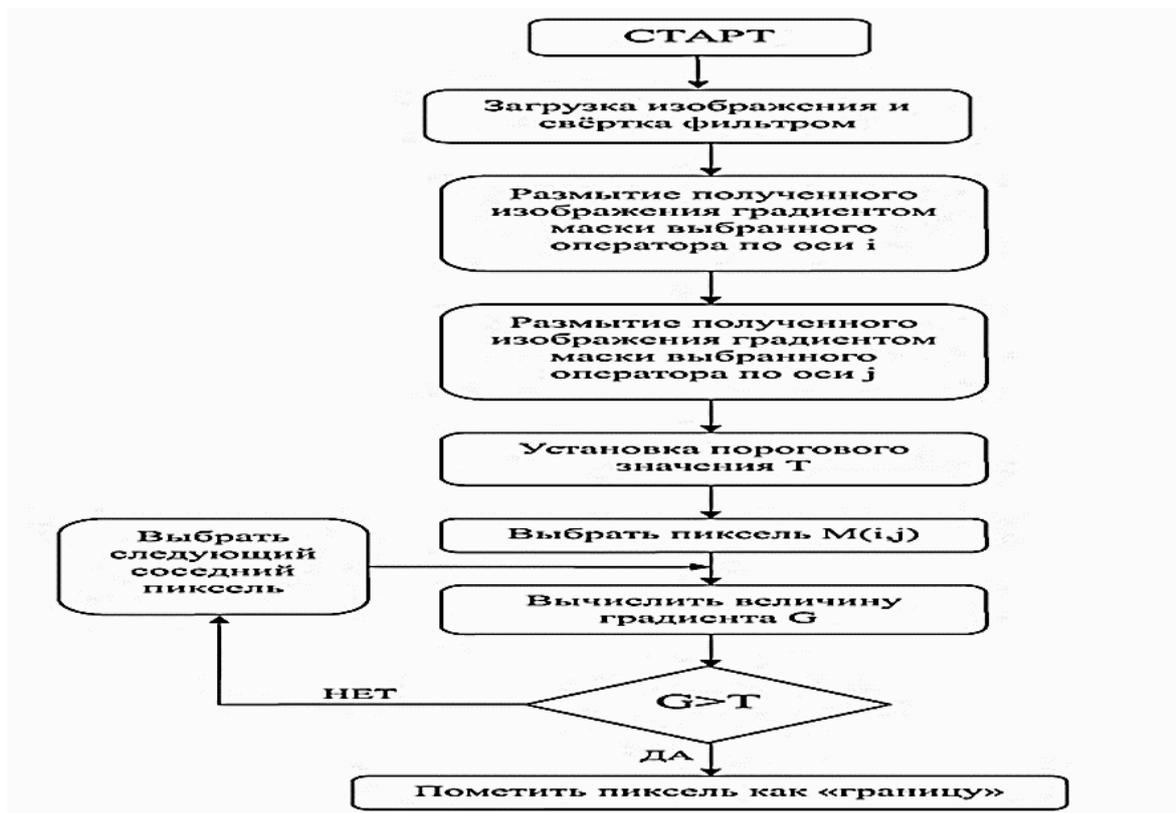


Рисунок 3.2 Алгоритм обработки и анализа изображений

Для первичной обработки, оконтуривания и контроля качества обработки изображений внешнего вида и цвета различных видов кефира разработан программный комплекс, включающий детекторы границ на основе метода оконтуривания Canny; средства предварительной обработки изображений; средства контроля качества оконтуривания и вспомогательные математические функции (функция подсчёта количества пикселей в границе, расчёт индекса структурного сходства и т.д.); средства оконтуривания изображения на исходное (позволяет проводить предобработку изображений и выявлять наиболее подходящий способ для конкретных видов изображений кефира); вычисление индекса структурного сходства исследуемого изображения.

Вычисления индекса структурного сходства производились с использованием математических пакетов NumPy и Pandas для языка программирования Python.

Еще одним важнейшим органолептическим показателем качества, который необходимо контролировать на каждой стадии производства кефира, является вкус. Проведено теоретическое обоснование возможности автоматизации контроля вкуса кефира с использованием нейросетевых технологий (НСТ). На рисунке 3.3 показаны основные этапы решения задачи построения виртуального датчика автоматического контроля в потоке вкуса кефира на основе НСТ и интеграции его в разрабатываемую интеллектуальную систему контроля и управления качеством кефира.

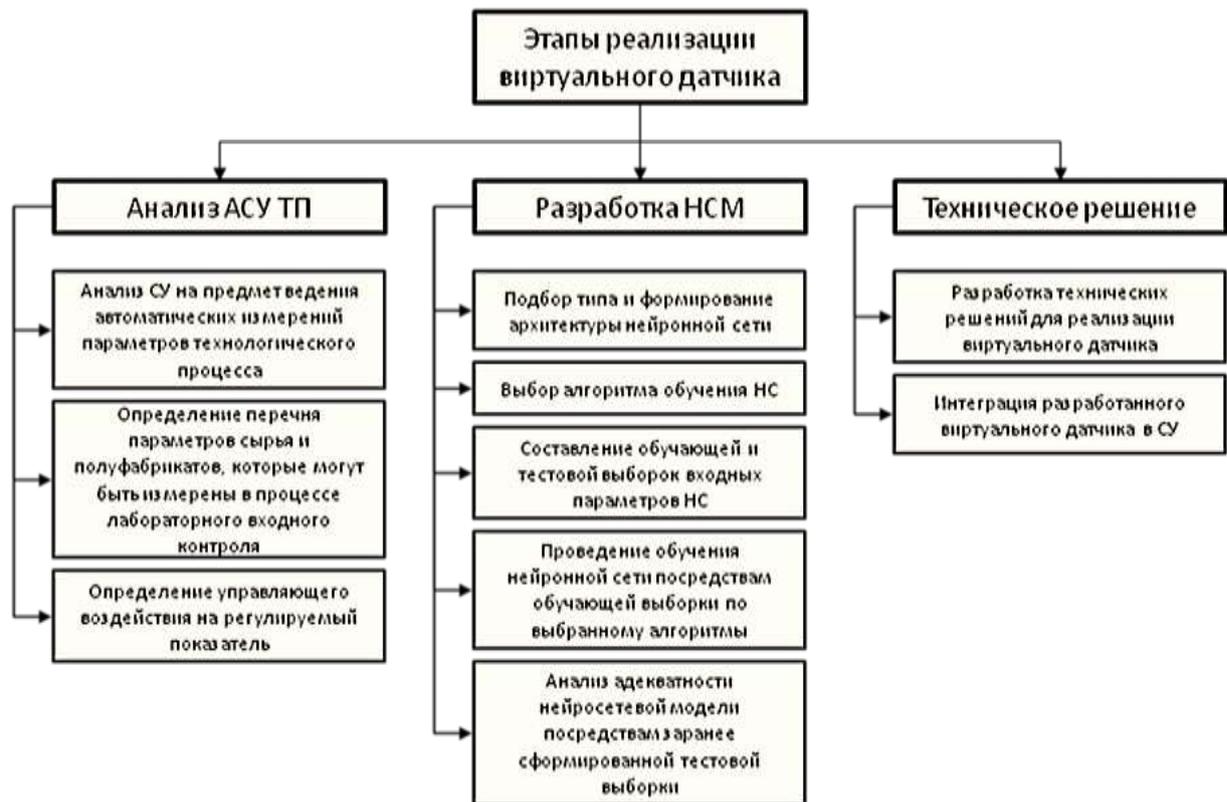


Рисунок 3.3 Этапы построения виртуального датчика автоматического контроля вкуса кефира

Представлена необходимая для реализации системы автоматического контроля (АК) вкуса кефира нейросетевая модель (НСМ). Для разработки НСМ был осуществлен выбор наиболее подходящего типа НС, 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 показали перспективность применения для решения задачи АК вкуса кефира многослойных НС прямого распространения, типа многослойный персептрон. Сеть, такого типа имеет структуру, показанную на рисунке 3.4, и является наиболее распространенной для решения задач классификации.

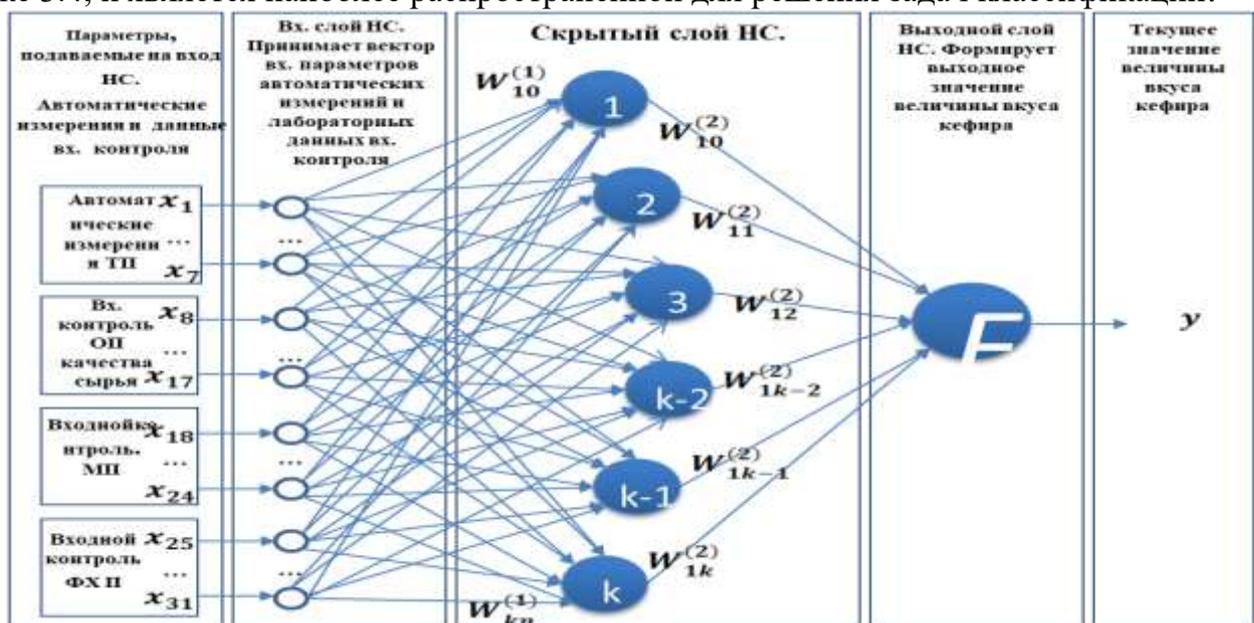


Рисунок 3.4 Структура сети, типа многослойный персептрон

Проведенные исследования также показали, что для решения АК вкуса кефира, оптимальной архитектурой сети будет являться гибридная сеть. В качестве алгоритма обучения сети был выбран градиентный метод обратного распространения ошибки, который является одним из наиболее эффективных методов обучения многослойных нейронных сетей.

На рисунке 3.5 показано, как проходил процесс обучения нейросети. На вход НС подавалась из БД одинаковая обучающая выборка основных параметров, характеризующих ход технологического процесса (ТП) производства кефира. По мере процесса обучения, который происходит по выбранному алгоритму, на протяжении работы сети минимизируется ошибка обучения.



Рисунок 3.5 Обучение нейросети

После проведения обучения сети была произведена оценка работоспособности нейросетевой модели, показавшая предел погрешности равным 1,5%, что является допустимой величиной. По результатам проведенных исследований был разработан модуль автоматического контроля в потоке вкуса кефира (программно- аппаратный комплекс ПАК) с использованием нейросетевых технологий.

Следующим важным органолептическим показателем качества кефира является вязкость, от величины которой в значительной степени зависит качество готового кефира. Поскольку к настоящему времени в пищевой промышленности для определения этого параметра применяются только лабораторные методы, был разработан цифровой ротационный вискозиметр, который будет использован на линии производства кефира для автоматического контроля в потоке его вязкости. В основу работы вискозиметра положено определение момента сопротивления, создаваемого исследуемой массой при вращении в ней чувствительного элемента (ЧЭ) определенной формы. Также в работе представлена система автоматического регулирования вязкости кефира с использованием цифровой видеокамеры (ЦВК).

Автоматизация контроля основных органолептических показателей качества готового кефира в потоке (внешнего вида, цвета, вкуса и вязкости) дает возможность формализовать процесс производства данного кисломолочного напитка и использовать получаемые цифровые сигналы для целей управления.

Четвертая глава посвящена разработке технических решений для реализации интеллектуальной системы контроля и управления качеством кефира (ИСКУКК). Представлены цели и основные задачи создания ИСКУКК. Разработана структура этой системы. Показано, что основными категориями решаемых данной системой задач являются: контроль, наблюдение (мониторинг), прогнозирование и поддержка принятия управленческих решений для регулирования процессов производства кефира.

Приведены основные этапы построения и проектирования ИСКУКК (рисунок 4.1). Разработана функциональная модель ИСКУКК в реальном времени. Интеллектуальная система также содержит набор программных средств, позволяющих разрабатывать и отлаживать систему контроля и управления, не прибегая к использованию языков программирования. Блоки ИСКУКК размещаются на аппаратных средствах (компьютерах и контроллерах) и работают под управлением исполнительных модулей TRACE MODE.

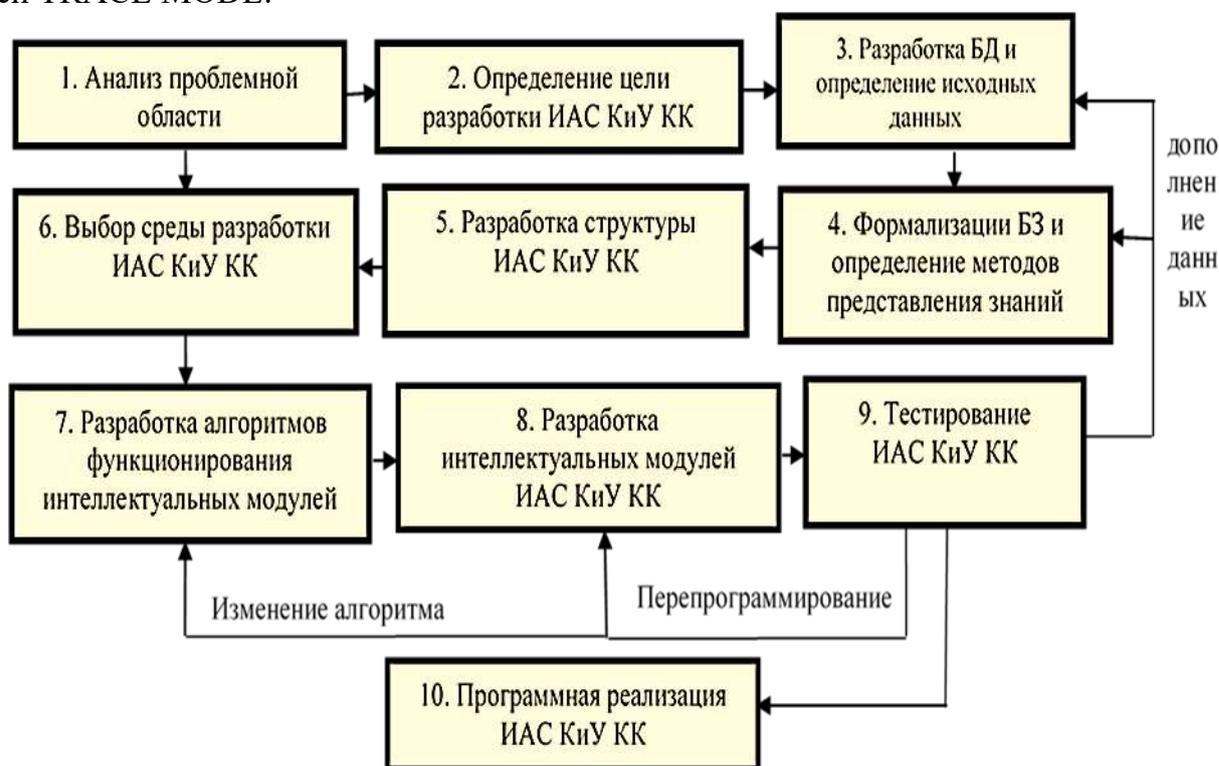


Рисунок 4.1. Основные этапы построения ИСКУКК

На основе разработанных алгоритмов и моделей создан комплекс программного обеспечения ИАСУУКК для расчета показателей качества кефира в реальном режиме производства кефира, представленный на рисунке 4.2.



Рисунок 4.2 Структура комплекса программного обеспечения для расчета показателей качества кефира

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

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 кефира с заданными свойствами. Основные результаты:

1. Проведен анализ ТП производства кефира как объекта автоматизации, 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 этих показателей в потоке.
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 процессов производства кефира.
6. Разработаны функциональные схемы автоматизации всех этапов производства кефира с использованием современных интеллектуальных технологий.
7. Поставлена и решена задача создания средств автоматического контроля в потоке внешнего вида, цвета, вкуса и вязкости кефира с применением нейросетевых технологий, компьютерного зрения, мультиагентного моделирования и реологических методов. Разработано соответствующее алгоритмическое, математическое и программное их обеспечение.
8. Представлены технические решения для реализации интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кефира (ИАСКУКК) с использованием автоматической идентификации ее маркировки. Разработана структура интеллектуальной системы. Приведены основные этапы ее построения. Показана функциональная модель работы ИАСКУКК в реальном времени. Разработан комплекс специализированного программного обеспечения для расчета показателей качества кефира.
9. Решена важная научно - практическая задача повышения эффективности управления технологическими процессами производства кефира за счет использования новых решений при разработке интеллектуальной 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 АСУБП и ИиВТПП МГУПП 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 основных работ, опубликованных по теме диссертации:

Публикации в изданиях, индексируемых WoS/Scopus

1. IDENTIFICATION OF READINESS FOR INNOVATIVE ACTIVITIES OF EMPLOYEES OF MODERN ORGANIZATIONS. *Donnik I.M., Pechenaya L.T., Ivanovashvets 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 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 Ecologica 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 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. Бла-

говещенский, 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 формованию / 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 построения 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. Харитонова, 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.