

Одно из основных направлений развития кондитерской промышленности связано с автоматизацией контроля в потоке показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий, включая и органолептические показатели. Существующие в настоящее время методы оценки показателей качества кондитерских изделий субъективны, определяются только путем лабораторных измерений, ввиду невозможности технического решения по организации их измерения в режиме реального времени. Назрела необходимость повышения объективности контроля этих показателей за счет внедрения высокоэффективных интеллектуальных технологий в процесс производства кондитерских изделий и создания на их базе интеллектуальной автоматизированной системы контроля в режиме реального времени и управления качеством кондитерских изделий.

Создание и использование интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления является одним из концептуальных этапов развития автоматизации кондитерской промышленности. В основе алгоритма работы такой системы заложена нейросетевая модель, функционирование которой основывается на работе аппарата искусственных нейронных сетей и систем компьютерного зрения. Создание такой интеллектуальной системы позволит: непрерывно, в потоке контролировать и прогнозировать показатели качества полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции в течение всего технологического процесса; обеспечит стабильность производства кондитерских изделий; существенно уменьшит уровень брака, снизит потери рабочего времени, сырья и энергии, повысит качество готовых изделий.

Исходя из вышеизложенного, тема диссертационной работы «Методологические основы автоматизации контроля органолептических показателей качества кондитерской продукции и создание на их базе интеллектуальных систем управления» является актуальным направлением развития кондитерской промышленности как с теоретической, так и с практической точек зрения, имеющим важное народнохозяйственное значение, а так-

же актуальной научно-технической задачей специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Диссертация соответствует паспорту специальности 2.3.3, а именно пунктам: «2. Автоматизация контроля и испытаний», «3. Методология, научные основы, средства и технологии построения автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) и производствами (АСУП), а также технической подготовкой производства (АСТПП) и т. д.», «4. Теоретические основы и методы моделирования, формализованного описания, оптимального проектирования и управления технологическими процессами и производствами», «5. Научные основы, алгоритмическое обеспечение и методы анализа и синтеза систем автоматизированного управления технологическими объектами», «6. Научные основы и методы построения интеллектуальных систем управления технологическими процессами и производствами», «8. Научные основы, модели и методы идентификации производственных процессов, комплексов и интегрированных систем управления и их цифровых двойников», «10. Формализованные методы анализа, синтеза, исследования и оптимизация модульных структур систем сбора, хранения, обработки и передачи данных в АСУТП, АСУП, АСТПП и др.», «11. Методы создания, эффективной организации и ведения специализированного информационного и программного обеспечения АСУТП, АСУП, АСТПП и др., включая базы данных и методы их оптимизации», «12. Методы создания специального математического и программного обеспечения, пакетов прикладных программ и типовых модулей функциональных и обеспечивающих подсистем АСУТП, АСУП, АСТПП и др., включая управление исполнительными механизмами в реальном времени», «15. Теоретические основы, методы и алгоритмы диагностирования (определения работоспособности, поиск неисправностей и прогнозирования), АСУП, АСТПП и др.».

Изложенное позволяет сделать вывод об актуальности темы диссертационной работы.

2. Научная новизна работы

Благовещенским Владиславом Германовичем сформулирован и решен ряд научных проблем, связанных с разработкой и созданием типовой интеллектуальной системой автоматического контроля в режиме реального времени, прогнозирования и управления качеством кондитерской продукции.

Автор сформулировал методологические основы системного анализа подготовленности технологических процессов производства кондитерской продукции к внедрению интеллектуальных автоматизированных систем контроля и управления органолептическими показателями качества этой продукции. Были разработаны функционально - структурные схемы влияния показателей исходного сырья и промежуточных операций на формирование качества кондитерской продукции разной структуры на всех стадиях производства с указанием необходимых точек контроля и регулирования. Разработана методология создания нового поколения интеллектуальных устройств первичного сбора и интеллектуального анализа полученных данных в режиме реального времени для автоматического контроля основных органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции. Представлена модификация функциональных схем автоматизации основных этапов процессов производства кондитерской продукции разной структуры с включением в эти схемы разработанных интеллектуальных средств автоматического контроля органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий. Разработан комплекс структурно – параметрических, математических, ситуационных и имитационных моделей процессов производства кондитерской продукции, являющийся основой создания интеллектуальной автоматизированной системы контроля, прогнозирования и управления качеством этой продукции в процессе производства. Разработана методика создания цифровых двойников производства кондитерской продукции. Разработан алгоритм создания новой линейки персонализированной оригинальной кондитерской продукции нового поколения с использованием технологий виртуальной, дополненной реальностей и кастомизации. Предложена и обоснована методика построения интеллектуальной

автоматизированной системы контроля и управления качеством кондитерской продукции в реальном времени с использованием нейросетевых технологий и систем компьютерного зрения. Разработано методическое обеспечение работы данной системы.

Все проведенные исследования выполнены автором на высоком научном уровне. Постановка задач, их решение и полученные результаты никаких вопросов не вызывают.

3. Практическая значимость результатов

На основе проведенных теоретических исследований:

- предложено направление развития нового поколения средств автоматического контроля в режиме реального времени слабо формализованных органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции;
- разработаны виртуальные и интеллектуальные датчики контроля в реальном режиме времени основных органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции;
- созданы цифровые двойники, используемые при проектировании и эксплуатации ТП производства кондитерской продукции;
- разработана новая линейка оригинальной персонализированной кондитерской продукции с использованием технологий виртуальной, дополненной реальности и кастомизации;
- разработана архитектура нейросетевой интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кондитерской продукции с интеллектуальными модулями автоматического контроля органолептических показателей качества и интеллектуальными функциями прогнозирования и управления;
- создана база знаний интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кондитерской продукции;

собственных экспериментальных исследований и расчетов с применением современных информационных технологий; **в- третьих**, применением современных средств измерительной техники и программных продуктов: MatLab, VisualC++, Java, Anylogic и др.

5. Общая оценка содержания диссертации

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, раскрыты научная новизна и практическая ценность работы.

Первая глава посвящена методологическим основам анализа подготовленности технологических процессов производства кондитерской продукции к внедрению интеллектуальных автоматизированных систем контроля и управления, а также постановке задач исследования. В рамках этой главы систематизированы и проанализированы особенности и закономерности технологических процессов производства кондитерской продукции различной структуры (твердой, желеобразной и аморфной) и различных типов (плиточного шоколада; глазированных помадных и пралиновых конфет; сбивных конфет суфле; халвы; мармелада; карамели; зефира; козинак; драже; ириса). Дана характеристика основных стадий и материальных потоков этих производств. Проведена классификация основных операций процесса производства конфет и выбраны факторы, определяющие эффективность этих операций и технологических процессов в целом. На основании полученных результатов разработаны функционально- структурные схемы влияния факторов исходного сырья, промежуточных операций на качество готовой кондитерской продукции на всех стадиях процесса производства с указанием необходимых точек контроля и регулирования. Автором установлено, что применяемая в настоящее время оценка органолептических показателей качества кондитерских изделий осуществляется экспертами- дегустаторами путем дегустационного анализа. В работе отмечается необходимость разработки методов и средств автоматического контроля в режиме реального времени этих органолептических пока-

- разработано эффективное алгоритмическое, математическое и программное обеспечения интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кондитерской продукции;
- разработаны технические решения для реализации интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кондитерской продукции в процессе производства. Осуществлен подбор технических средств для реализации этой системы.

Разработанные методы, модели, алгоритмы, структуры и программные продукты прошли апробацию и были внедрены на кондитерских предприятиях Холдинга «Объединенные кондитеры», на ОА «Научно-исследовательский институт вычислительных комплексов имени М.А. Карцева». Имеются соответствующие акты внедрения.

Полученные в рамках настоящего исследования научные и практические результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс кафедры промышленной информатики ФГБОУ ВО «МИРЭА – РТУ», а также на кафедре «Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами» ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ» для студентов направлений подготовки «Автоматизация технологических процессов и производств», «Мехатроника и робототехника» и «Управление в технических системах», что подтверждается соответствующими актами внедрения научно-технической продукции.

4. Обоснованность и достоверность

научных положений, выводов и заключений подтверждается следующими обстоятельствами: **во-первых**, использованием методов системного анализа и математических основ построения интеллектуальных систем поддержки и принятия решений; теории нейронных сетей; теории цифровой обработки изображений; элементов теории искусственного интеллекта; методов математической статистики; экспериментальными исследованиями технологических процессов производства кондитерской продукции, проведенными в производственных условиях; **во-вторых**, согласованностью результатов

зателей. Диссертантом проведены экспериментальные исследования и построены органолептические профили всех исследуемых кондитерских изделий. На основании полученных результатов в данной главе выявлены наиболее важные органолептические показатели качества сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции, контролируемые на каждой стадии производства. Поставлена задача разработки и внедрения интеллектуальных средств автоматического контроля в режиме реального времени выбранных органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий, и создания на их базе типовой интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кондитерской продукции.

Осуществлен системный анализ и сформулирована проблемы данного исследования. Разработано дерево целей работы. Представлена системная диаграмма решения проблемы. Создана концептуальная структурно-динамическая модель системы управления качеством различной кондитерской продукции в процессе производства.

Во второй главе проведен системный анализ методов, алгоритмов и технологий с точки зрения возможности и эффективности их использования при разработке интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством кондитерской продукции. Рассмотрены проблемы управления технологическими процессами производства этой продукции и пути их преодоления. Проведена оценка возможностей практического применения различных методов, алгоритмов и классов адаптивных систем для управления производствами. Показано, что практической базой для реализации этой проблемы, в условиях нестабильности качества поступающего на производство сырья, влияния многочисленных технологических факторов и режимных параметров используемого оборудования на процесс производства кондитерской продукции, может стать создание автоматизированной системы управления качеством этой продукции с применением технологий искусственного интеллекта, включающего в свой арсенал нейросетевые технологии, экспертные системы, системы компьютерного зрения, имитационное моделирование

и эффективное сочетание этих методов. В рамках этой главы рассмотрены особенности, признаки, функции и специфика использования интеллектуальных информационных систем. Проведен анализ перспективности использования нейросетевых технологий, генетических алгоритмов, экспертных систем, систем компьютерного зрения и мультиагентных имитационных моделей в решении задач интеллектуализации управления качеством производства кондитерской продукции. Показаны перспективы использования гибридных методов и технологий.

Третья глава посвящена автоматизации контроля в режиме реального времени органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции с использованием интеллектуальных технологий. Автором рассмотрено современное состояние методов и систем контроля и управления качеством продукции на промышленных предприятиях. Рассмотрены имеющиеся на кондитерских предприятиях системы АСУТП, АСУП. Проанализированы существующие в настоящее время инструменты контроля органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий. Проведенный автором работы анализ полученных профилограмм органолептической оценки различной кондитерской продукции позволил выбрать и обосновать наиболее информативные органолептические показатели качества сырья, полуфабрикатов и готовых кондитерских изделий, подлежащих автоматическому контролю. В диссертации представлены методы, способы, алгоритмы, математическое и программное обеспечение, на базе которых разработано новое поколение интеллектуальных средств автоматизации контроля в режиме реального времени важнейших органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции. Это: коэффициент извлечения примесей; угол естественного откоса сыпучих масс; вкус; запах; цвет, внешний вид, размер изделия, состояние поверхности готовых кондитерских изделий, в том числе блеск поверхности, а также консистенция и вязкость.

Четвертая глава посвящена описанию комплексных экспериментальных исследований, позволивших разработать методологию построения структурно – параметрических моделей основных стадий производства кондитерской продукции, на базе которой получены параметрические и математические модели основных этапов ТП производства шоколада, глазированных помадных и пралиновых конфет, сбивных конфет, халвы, мармелада, карамели, зефира, козинак, драже и ириса. На этой базе разработаны ситуационные модели ТП производства кондитерской продукции разной структуры. Определены и обоснованы основные параметры (режимные и технологические), оказывающие наибольшее влияние на исследуемые ТП производства кондитерских изделий. Полученные результаты позволяют перейти к мультиагентному имитационному моделированию процессов производства кондитерской продукции. Проведен анализ этих ТП методом мультиагентного имитационного моделирования с использованием программного обеспечения AnyLogic, что позволяет проводить дальнейшие предварительные виртуальные эксперименты с варьированием режимных и технологических параметров исследуемых производств.

Пятая глава посвящена методике создания цифровых двойников производства кондитерской продукции на основе ранее разработанных структурно – параметрических, математических, ситуационных и имитационных моделей. Предложены научные основы создания цифровых двойников производства кондитерских изделий. Показана общая схема исследований по разработке этих ЦД. Разработана диаграмма создания ЦД качества ТП производства кондитерской продукции. В качестве примера использования предложенного автором инструментария в диссертации представлен разработанный цифровой двойник ТП производства шоколада. На примере этой линии показано применение разработанного комплекса инструментальных средств для создания ЦД процессов производства кондитерской продукции с использованием разработанной и обученной нейронной сети YOLO.

В шестой главе рассмотрено использование технологий виртуальной и дополненной реальностей и кастомизации для разработки персонализированной линейки оригинальной кондитерской продукции нового поколения. Приведены основные этапы кастомизации формы, вкуса и цвета создаваемых оригинальных кондитерских изделий. Представлены основные стадии процесса разработки цифровых трехмерных моделей конфет, помогающие определить ключевые элементы дизайна нового изделия, такие как форма, размер, текстура и цвет конечного продукта. Выбран наиболее эффективный метод реализации цифровых трехмерных моделей создаваемых конфет, на базе которого разработана платформа для кастомизации кондитерских изделий. Разработана реляционная база данных для создания облачной платформы хранения и редактирования трехмерных моделей конфет. Предложена система управления разработанной базой данных. Разработан интерфейс платформы. Подготовлен макет веб-сайта по реализации кастомизации кондитерских изделий нового поколения. Разработано информативное Веб-приложение для продвижения новых кондитерских изделий.

В седьмой главе автором проработаны методологические основы построения интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кондитерской продукции в процессе производства. Предложена методика разработки этой системы и технические решения для ее реализации. Показана общая структура и состав системы в условиях промышленной эксплуатации. Обосновано использование в качестве интеллектуального ядра интеллектуальной системы модели искусственных нейронных сетей. Разработана специализированная база данных и сформирована база знаний автоматизированной интеллектуальной системы. Разработана архитектура и основная концепция создания интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления. Для физической реализации разработанной структуры осуществлен подбор комплекса технических средств.

Разработанные методы, модели, алгоритмы, структуры и программы прошли апробацию и внедрены на кондитерских предприятиях Холдинга

«Объединенные кондитеры», в научно- исследовательском институте вычислительных комплексов имени М.А. Карцева, а также использованы в специализированной профильной фирме ООО «ЭлитМатик (Промышленная автоматизация, роботы, техническое зрение)» Имеются соответствующие акты внедрения.

Текст диссертации написан четким техническим и литературно грамотным языком, оформление работы выполнено аккуратно и соответствует нормативным документам. Каждая глава сопровождается выводами по рассмотренным в ней вопросам. В заключении даны выводы и обоснованы рекомендации по работе в целом.

Основные результаты работы достаточно полно представлены в опубликованных соискателем научных трудах, монографиях и автореферате. Из них 3 монографии, 1 патент на изобретение, 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ, 13 статей в журналах, входящих в список ВАК и 7 - в Scopus, 6 – в других изданиях, а также 129 докладов в сборниках научных докладов международных конференций.

Результаты работы в период с 2016 по 2024 гг. были многократно представлены и обсуждены на международных и российских научно- технических конференциях, симпозиумах и выставках.

Содержание автореферата полностью соответствует положениям, представленным в диссертации.

По диссертационной работе можно сделать следующие **замечания**.

1. Отсутствие в приложениях программной реализации обработки экспериментальных данных.
2. Не показано, каким образом можно включить, установленные на оборудовании цифровые видеокамеры в интеллектуальную автоматизированную систему контроля и управления качеством кондитерской продукции.
3. Перенасыщенность работы исследованиями современного состояния автоматизации контроля показателей качества конфет в процессе производства.

В работе недостаточно четко представлены критерии качества готовой продукции и их допустимые отклонения.

4. В диссертационной работе (рисунки 1.3, 1.5) дано нестандартное обозначение показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции.

5. На «Способы автоматического контроля запаха, формы готовых изделий, консистенции, вязкости конфетных масс и блеска поверхности готовых кондитерских изделий» следовало бы подать заявку на изобретение.

Приведенные выше замечания не снижают общей высокой оценки научной и практической ценности диссертации Благовещенского Владислава Германовича.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Учитывая перспективность использования разработанных интеллектуальных автоматизированных систем для прогнозирования и управления качеством кондитерской продукции различной структуры, рекомендуется продолжать исследования в этой области по созданию таких интеллектуальных систем управления для различных отраслей пищевой промышленности.

Заключение по диссертационной работе

Диссертация Благовещенского Владислава Германовича «Методологические основы автоматизации контроля органолептических показателей качества кондитерской продукции и создание на их базе интеллектуальных систем управления» является завершенной научно-исследовательской работой, теоретические положения и практические рекомендации которой можно квалифицировать как значимые научные достижения для решения важных социально-экономических задач. Выводы и рекомендации достаточно обоснованы.

Автор продемонстрировал глубокое знание автоматизации технологических процессов производства кондитерской продукции, вычислительной техники, информационных технологий, методов систем компьютерного зрения, статистической обработки данных и теории нейронных сетей, а также

умение пользоваться ими. Достоинством данной работы является тесная связь с промышленностью.

Оппонируемая работа по актуальности, объему проведенных исследований, научно- методическому уровню и полученным результатам соответствует паспорту специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами, пп. 9 – 11, 13 и 14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (ред. от 25.01.2024), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук; а ее автор Благовещенский В.Г. заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.3 - Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами».

Диссертационная работа Благовещенского Владислава Германовича рассмотрена, обсуждена и одобрена на заседании кафедры автоматизированных систем управления процессами и производствами ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерный технологий», Протокол № 9 от « 17 » апреля 2024 г.

Отзыв подготовлен:

Зав. кафедрой автоматизированных систем управления процессами и производствами»,
доктор технических наук, профессор
« 16 » апреля 2024 г.

 Авцинов И.А.

Сведения об университете:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет инженерных технологий»

Адрес: 394036, Россия, г. Воронеж, просп. Революции, д. 19

Телефон: +7 (473)255-42-67

Адрес электронной почты: post@vsuet.ru