

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО «Московский
государственный университет
технологий и управления
им. К.Г. Разумовского (ПКУ)»
Д. истор. н.

Володихин Д. М.



17.10.2025

ОТЗЫВ

**ведущей организации – Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Московский государственный университет технологий и управления им.
К.Г. Разумовского (ПКУ)»**

на диссертационную работу Благовещенского Владислава Германовича
«Методологические основы автоматизации контроля
органолептических показателей качества кондитерской продукции и
создание на их базе интеллектуальных систем управления»,
представленную на соискание ученой степени доктора технических наук
по специальности 2.3.3 – «Автоматизация и управление
технологическими процессами и производствами»

Общая характеристика работы.

Диссертация на тему «Методологические основы автоматизации контроля органолептических показателей качества кондитерской продукции и создание на их базе интеллектуальных систем управления» выполнена на кафедре промышленной информатики ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет (ФГБОУ ВО «РТУ МИРЭА»)). Состоит из введения, семи глав, заключения, библиографии (296 источников) и 18 приложений. Работа изложена на 533 страницах машинописного текста, содержит 193 рисунка, 33 таблицы, 5 актов внедрения научно-исследовательской работы, и по формальным признакам соответствует требованиям ВАК РФ по оформлению докторских диссертаций.

1. Актуальность исследования.

Одно из основных направлений развития кондитерской промышленности связано с автоматизацией контроля в потоке показателей качества сырья, полу-

фабрикатов и готовых изделий, включая и органолептические показатели. Существующие в настоящее время методы оценки органолептических показателей качества кондитерских изделий субъективны, определяются сенсорными методами только путем лабораторных измерений, ввиду невозможности технического решения по организации их определения в режиме реального времени. Назрела необходимость повышения объективности контроля этих показателей за счет внедрения высокоэффективных интеллектуальных технологий в процесс производства и создания на их базе интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кондитерских изделий в режиме реального времени.

Создание и использование интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления является одним из концептуальных этапов развития цифровизации 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 также 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 ос-

новы, 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» и «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».

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 определил направления цифровизации технологических процессов производства кондитерской продукции, сформулировал методологические основы системного анализа подготовленности технологических процессов производства кондитерской продукции к внедрению интеллектуальных автоматизи-

рованных 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 автоматизации создания цифровых двойников производства кондитерской продукции. Разработан алгоритм автоматизации создания 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, получены: 1 патент на изобретение, 10 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ и 2 свидетельства о регистрации базы данных.;
- 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;
- 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 ин-

ститут 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 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. Автор установил, что применяемая в настоящее время оценка органолептических показателей качества кондитерских изделий осуществляется экспертами-дегустаторами путем дегустационного и визуального анализа. В работе отмечается необходимость разработки методов и средств автоматического контроля в режиме реального времени этих органолептических показателей. 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 анализ полученных результатов 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 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, технологии интернет вещей, 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 выбор наиболее эффективных интеллектуальных технологий для решения 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 технологических процессов (ТП) производства шоколада, 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 позволили перейти к мультиагентному имитационному моделированию процессов производства кондитерской продукции. Проведен анализ этих ТП методом мультиагентного имитационного моделирования с использованием программного обеспечения AnyLogic, что дало возможность проводить предварительные виртуальные эксперименты с варьированием режимных и технологических параметров исследуемых производств.

Пятая глава посвящена методике автоматизации создания цифровых двойников (ЦД) производства кондитерской продукции на основе ранее разработанных структурно – параметрических, математических, ситуационных и имитационных моделей. Предложены научные основы автоматизации 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 автоматизации 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. 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 модель 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, 2 учебных пособия, 1 патент на изобретение, 10 свидетельств Роспатента о регистрации программы для ЭВМ, 2 свидетельства о регистрации базы данных, 25 статей в журналах, входящих в Перечень ВАК, а также 211 статей в других профессиональных журналах и научных сборниках.

Результаты работы в период с 2015 по 2025 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.

4. В работе недостаточно четко представлены критерии качества готовой продукции и их допустимые отклонения.
5. В диссертационной работе (рисунки 1.3, 1.5) дано нестандартное обозначение показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции.
6. На «Способы автоматического управления качеством 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 « », утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (ред. от 16.10.2024), 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 «Систем автоматизированного управления» ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (Первый казачий университет)», протокол № 9 от «16» октября 2025 г.

Отзыв подготовили:

Зав. кафедрой «Систем
автоматизированного управления»,
канд. техн. наук, доцент


Гончаров А.В.

Профессор кафедры «Систем
автоматизированного управления»,
доктор техн. наук, профессор


Петров С.М.

«16» октября 2025 г.

Сведения об университете:

ФГБОУ ВО «МГУТУ им. К.Г. Разумовского (ПКУ)»,
адрес: 109004, г. Москва, ул. Земляной Вал, 73
Телефон: +7 (473)255-42-67
Адрес электронной почты: post@mgutm.ru