

В диссертационный совет 24.2.334.01 (Д 212.148.02)
при ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет
(РОСБИОТЕХ)» 125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, д.11

ОТЗЫВ

ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, профессора

Бессарабова Аркадия Марковича на диссертационную работу

Благовещенского Владислава Германовича

**на тему «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»**

Актуальность диссертационного исследования

Диссертация Владислава Германовича Благовещенского посвящена разработке интеллектуальной системы автоматического контроля и управления в потоке органолептическими показателями качества кондитерской продукции и разработке технических решений для реализации предложенных методов, моделей, способов и результатов моделирования технологических процессов производства кондитерской продукции на действующих предприятиях.

Актуальность темы обоснована. В настоящее время методы оценки органолептических показателей качества кондитерской продукции субъективны и далеки от совершенства, поскольку эта оценка осуществляется сенсорными методами с применением дегустационного или визуального анализа. В виду усиления требований к качеству и конкурентоспособности выпускаемых отечественных кондитерских изделий, повышается важность объективности оценки их качества за счет создания и внедрения в производственных процесс интеллектуальных систем, оснащенных современными средствами непрерывного автоматического контроля в потоке органолептических показателей качества этих продуктов с использованием высокоэффективных интеллектуальных технологий, таких как искусственные нейронные сети, системы компьютерного зрения, экспертные системы, мультиагентные имитационные технологии моделирования, системы виртуальной и дополненной реальности, цифровые двойники и др. Предложенный диссертантом подход позволит: автоматизировать ручные процессы контроля и управления с ис-

пользованием профессиональных знаний и опыта экспертов – дегустаторов и технологов; обеспечит систему динамически развивающейся базой знаний; вести непрерывный мониторинг хода технологических процессов производства кондитерских изделий; прогнозировать и регулировать качество получаемого продукта в режиме реального времени; существенно уменьшить уровень брака; снизит потери рабочего времени, сырья и энергии. Представленная диссертационная работа направлена на исследования и решение данных задач, чем и определяется важность и актуальность ее темы.

Содержание диссертационной работы

Диссертационная работа Благовещенского В.Г. состоит из введения, 7 глав, заключения, списка используемой литературы, включающей 296 наименований, и приложений. Основное содержание работы изложено на 533 страницах машинописного текста, содержит 193 рисунка, 33 таблицы и 18 приложений.

Первая глава посвящена анализу технологических процессов производства кондитерских изделий как объектов автоматизации с формализацией особенностей данных процессов (с.29 - 74, п.1.2.1 – 1.2.9). В рамках этой главы выбраны наиболее типичные ТП производства кондитерской продукции различной структуры (твердой, аморфной, пенообразной, желеобразной, кристаллической) и ассортимента: ТП производства шоколада, в том числе пористого; сбивных масс (суфле, птичье молоко); халвы; мармелада; карамели; зефира; козинак; драже и ириса.

Выявлены, обобщены, систематизированы и проанализированы особенности данных процессов, даны характеристики основных стадий и материальных потоков при производстве кондитерских изделий разной структуры. Проведена классификация основных типовых операций процесса производства кондитерских изделий и выбраны факторы, определяющие эффективность этих операций и технологических процессов в целом (с. 74 – 77, п.1.3).

Проведен всесторонний анализ параметров, оказывающих влияние на качество сырья, полуфабрикатов и готовых кондитерских изделий. Проанализировано их влияние на ход каждой стадии производства кондитерской продукции. На основании полученных результатов диссертантом разработаны функционально – структурная схема влияния факторов исходного сырья, промежуточных операций на качество готовых кондитерских изделий на всех стадиях процесса производства (рисунки 1.3, 1.9, 1.13, 1.19, 1.26, 1.30, 1.36). Выявлены необходимые точки контроля и регулирования. Разработаны функционально – структурные схемы формирования потока

качества кондитерской продукции на всех этапах их производства с указанием необходимых точек контроля и регулирования (рисунки 1.5, 1.9, 1.14, 1.19, 1.23, 1.28, 1.32, 1.36, 1.40).

Проанализированы существующие ГОСТы и научно-технические документы, устанавливающие методы определения органолептических показателей качества кондитерских изделий. Полученные данные позволили выбрать и обосновать наиболее информативные органолептические показатели контроля качества сырья, полуфабрикатов и готовых кондитерских изделий. Это: коэффициент извлечения примесей в сырье; внешний вид сырья и готовых изделий; угол естественного откоса сыпучих масс; блеск поверхности готовых кондитерских изделий; форма, размер и количество изделий на транспортере; консистенция; вкус; запах; цвет и вязкость, которые необходимо определять непрерывно в ходе технологических процессов в режиме реального времени.

Показано, что существующие в настоящее время методы оценки органолептических показателей качества субъективны и определяются только путем лабораторных измерений с использованием с использованием визуального или дегустационного контроля. Рассмотрены и проанализированы существующие современные инструментальные методы и средства автоматического контроля в потоке этих показателей (стр. 77 - 79, п.1.4). Сделано заключение о невозможности использования имеющихся методов и средств для автоматизации контроля вышеуказанных показателей в режиме реального времени.

На основании полученных результатов автором было сделано заключение о потребности разработки и внедрения интеллектуальных средств автоматического контроля в режиме реального времени органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых конфет, и создания на их базе типовой интеллектуальной системы автоматического контроля и управления качеством (ИСАКиУК) кондитерской продукции.

Затем диссертантом был осуществлен системный анализ проблемы данного исследования. Разработана структура целей, создана системная диаграмма решения проблемы, разработана концептуальная структурно-динамическая модель системы управления качеством различной кондитерской продукции в процессе производства.

Во второй главе диссертантом проведен системный анализ методов, алгоритмов и технологий с точки зрения возможности и эффективности их использования при разработке интеллектуальной системы автоматического контроля и управления качеством кондитерских изделий в процессе производства (стр. 95 - 98).

Автором показано, что практической базой для реализации этой проблемы, в условиях нестабильности качества поступающего на кондитерские предприятия сырья, сложной формализуемой обстановки, влияния многочисленных внешних факторов и режимных параметров используемого оборудования на процесс производства кондитерской продукции, может стать создание интеллектуальной системы автоматического контроля и управления качеством кондитерских изделий с применением искусственного интеллекта, включающего в свой арсенал нейросетевые технологии, технологии интернет вещей, генетические алгоритмы, экспертную систему, системы компьютерного зрения, имитационное моделирование и эффективное сочетание этих методов (п.2.3, стр. 98 – 133). Осуществлен выбор наиболее перспективных интеллектуальных технологий для решения задач интеллектуализации контроля и управления качеством производства кондитерской продукции. Показаны перспективы интеллектуализации системы автоматического контроля и управления качеством производства этих изделий с использованием гибридных методов этих технологий.

Третья глава посвящена автоматизации контроля в режиме реального времени основных органолептических показателей качества кондитерской продукции с использованием интеллектуальных методов и технологий. Автором разработаны методы и способы автоматического контроля в режиме реального времени следующих показателей качества: 1) коэффициента извлечения примесей в сырье с использованием системы компьютерного зрения; 2) внешнего вида сырья и готовых изделий с использованием системы компьютерного зрения (СКЗ) и нейросетевых технологий (НСТ); 3) угла естественного откоса сыпучих масс с использованием СКЗ и НСТ; 4) блеска поверхности готовых кондитерских изделий с использованием фотоэлектрического датчика и НСТ; 5) формы, размера и количества изделий на транспортере с использованием СКЗ и сверточных нейронных сетей; 6) консистенции с использованием платформы Arduino, микроконтроллера Arduino Nano v3, программируемых технических средств и технологий промышленного интернета вещей; 7) вкуса с использованием НСТ; 8) запаха с использованием НСТ; 9) цвета с использованием СКЗ и НСТ; 10) вязкости с использованием программируемых технических средств и технологий промышленного интернета вещей. На основании проведенных в данной главе исследований автором получено 10 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ, 2 свидетельства о регистрации базы данных и 1 патент на изобретение.

В четвертой главе приводятся результаты проведенных автором экспериментальных исследований и представлены разработанные структурно параметрические, математические, ситуационные и имитационные модели

исследуемых процессов производства, являющиеся основой создания интеллектуальной системы автоматического контроля, прогнозирования и управления качеством кондитерской продукции в процессе производства.

Пятая глава посвящена методике автоматизации создания цифровых двойников производства кондитерской продукции на основе разработанных в 4 главе моделей.

В рамках данной главы автор представил основные подходы к созданию и использованию цифровых двойников в процессах производства кондитерских изделий (п.5.3, стр. 355 – 370). Рассмотрены и проанализированы возможности использования цифровых двойников в производстве на разных этапах их жизненного цикла (п. 5.4, стр. 358 – 359).

Предложена общая схема исследований по разработке ЦД производства кондитерских изделий. Представлена диаграмма их создания (п.5.5, стр. 366 – 369). На примере линии производства шоколада показано применение разработанного комплекса инструментальных средств для создания ЦД процессов производства кондитерской продукции (п.5.5.4, стр. 370 – 378).

В шестой главе рассмотрено использование технологий виртуальной, дополненной реальностей и кастомизации для автоматизации разработки персонализированной оригинальной кондитерской продукции нового поколения.

Приведены основные этапы кастомизации формы, вкуса и цвета создаваемых оригинальных кондитерских изделий. Показано, что технология кастомизации дает возможность потребителю влиять на ряд характеристик продукта в соответствии с личными предпочтениями (п. 6.2, стр. 402).

Представлена программа создания цифровых трехмерных моделей конфет, помогающая определить ключевые элементы дизайна нового изделия, такие как форма, размер, текстура и цвет конечного продукта (п.6.3, стр. 404). Разработана платформа для кастомизации кондитерских изделий. Создан прототип рабочей облачной платформы для хранения и редактирования трехмерных моделей конфет и продвижения кондитерских изделий нового поколения (п.6.6, стр. 427).

Седьмая глава посвящена разработке технических решений для реализации интеллектуальной системы автоматического контроля и управления качеством (ИСАКиУК) кондитерской продукции в процессе производства.

Проведена экспериментальная проверка результатов исследования на промышленном оборудовании конфетного цеха кондитерской фабрики ОАО «Рот-Фронт» Холдинга «Объединенные кондитеры».

Результаты работы также внедрены в учебном процессе ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет («РОСБИОТЕХ»))» на кафедре «Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами», а также в учебном процессе ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет («РТУ МИРЭА»))» на кафедре промышленной информатики..

В **заключении** работы обобщаются полученные результаты, приводятся выводы по диссертационной работе.

Представленные материалы позволяют достаточно полно оценить объем и сложность проведенного исследования.

Автореферат в должной мере отражает содержание диссертации.

Основные научные результаты диссертационного исследования

Диссертант В.Г. Благовещенский в процессе исследований получил ряд новых научных результатов, среди которых следует отметить следующие:

- Разработаны и предложены новые функционально структурные схемы (ФСС) формирования качества кондитерских изделий с указанием необходимых точек контроля и регулирования, а также модифицированные функциональные схемы автоматизации (ФСА) 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, что позволит повысить эффективность кондитерского производства.
- На основе структурно - параметрического моделирования разработаны математические модели основных стадий ТП производства кондитерской продукции различной структуры.
- Разработаны методологические основы автоматизации создания цифровых двойников производства кондитерских изделий.
- Разработаны интеллектуальные средства автоматического контроля важнейших органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции в режиме реального времени.
- Разработана концепция создания интеллектуальной системы автоматического контроля и управления качеством (ИСАКиУК) кондитерской продукции. Предложен комплекс методов, алгоритмов, моделей и программ, обеспечивающих работу этой системы. Разработана типовая интеллектуальная система автоматического контроля и управления качеством кондитерской продукции.

- Созданы основные виды обеспечения ИСАКиУК: информационное, математическое и программное. Представлены технические решения для реализации системы. Осуществлен подбор технических средств для данной интеллектуальной системы.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций работы

Достоверность и обоснованность исследования базируется на корректном использовании методологических и математических основ системного анализа и теории принятия решений, методики построения реляционных баз данных, основных положений теории нейронных сетей, теории цифровой обработки изображений и теории принятия решений. Обоснованность результатов подтверждена экспериментальными исследованиями технологических процессов производства кондитерских изделий, проведенными в производственных условиях ОАО «Рот-Фронт» Холдинга «Объединенные кондитеры», а также обеспечивается совпадением расчетных данных и результатов эксперимента.

Теоретическая значимость выводов и результатов

Теоретическая значимость заключается в исследовании процессов производства кондитерской продукции как многомерного объекта автоматизации; разработке методологии создания нового поколения интеллектуальных средств автоматизации контроля в режиме реального времени основных органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции; разработке комплекса структурно – параметрических, математических, ситуационных и имитационных моделей процессов производства кондитерской продукции; разработке методического обеспечения построения нейросетевой интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кондитерской продукции с функциями прогнозирования, поддержки и принятия решений.

Научный интерес представляет также разработанная методика накопления базы данных и формирования базы знаний интеллектуальной системы автоматического контроля и управления для идентификации, прогнозирования и диагностики хода ТП производства кондитерской продукции. Несомненный интерес вызывают разработанные алгоритмы идентификации, прогнозирования и диагностики состояния технологических систем и показателей качества кондитерских изделий. Данный подход позволяет строить точ-

ные модели для автоматического контроля органолептических показателей качества кондитерских масс, а также прогнозировать качество готовых изделий.

На основе современных программных продуктов автором предложены методы эффективной организации информационного и программного обеспечения разработанной интеллектуальной системы контроля и управления.

Практическая значимость результатов

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

1. Разработано новое поколение интеллектуальных средств автоматического контроля в режиме реального времени важнейших показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции: коэффициент извлечения примесей в сырье; внешний вид сырья и готовых изделий; угол естественного откоса сыпучих масс; блеск поверхности готовых кондитерских изделий; форма, размер и количество изделий на транспортере; консистенция; вкус; запах; цвет; вязкость. Проведенные исследования позволили получить 1 патент на изобретение, 10 свидетельств о регистрации программы для ЭВМ, 2 свидетельства о регистрации базы данных.

2. Разработана методика автоматизации получения новой оригинальной персонализированной кондитерской продукции с использованием технологий виртуальной, дополненной реальности и кастомизации.

3. Создана база знаний ИСАКиУК кондитерской продукции.

4. Разработано алгоритмическое, математическое и программное обеспечение ИСАКиУК кондитерской продукции с функциями прогнозирования, поддержки и принятия решений.

5. Разработаны технические решения для реализации ИСАКиУК кондитерской продукции в процессе производства. Осуществлен подбор технических средств для реализации интеллектуальной системы.

Результаты работы были внедрены на кондитерских фабриках Холдинга «Объединенные кондитеры», а также в Научно-исследовательском институте вычислительных комплексов имени М.А. Карцева, что подтверждается соответствующими актами внедрения научно-технической продукции.

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» (имеются соответствующие акты внедрения).

Соответствие результатов заявленной научной специальности

Научные результаты соответствуют следующим пунктам научной специальности 2.3.3 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами»:

- «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».

Замечания по диссертационной работе

По диссертационной работе Благовещенского В.Г. можно сделать следующие замечания:

1. В 1 главе диссертации присутствует достаточно много общеизвестной информации, касающейся работы линий производства кондитерской продукции (п. 1.2), вопросов оценки качества кондитерских изделий (п. 1.4). На мой взгляд, можно было ограничиться ссылкой на соответствующие ис-

точники информации, либо значительно сократить эту информацию без ущерба содержанию диссертации.

2. Остается не понятным, зачем проведена классификация основных операций технологических процессов производства кондитерской продукции и выбор факторов, определяющих эффективность этих операций (п.1.3). В дальнейшем в работе эта таблица не использовалась. Поэтому данный пункт можно было из текста исключить.

3. На реализованные автором программные продукты разработанной интеллектуальной системы контроля и управления следовало бы получить Свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ. Это значительно повысило бы практическую ценность работы.

4. В представленных рисунках 6.20 и других шестой главы необходимо было дать пояснения на русском языке используемых обозначений, чтобы не приходилось расшифровывать мнемонику имен сущностей и атрибутов.

5. Отсутствует математическая постановка задачи получения математических моделей процессов производства кондитерской продукции. Поэтому, не понятно по какому формальному критерию ищется оптимальное решение и с помощью каких инструментальных средств?

6. Одним из важных результатов является реализация в интеллектуальной системе контроля и управления режима «Совет оператору», но его описание в работе считаю не полным. Это описание необходимо привести с оценкой экономического эффекта от реализации разработанной интеллектуальной автоматизированной системы в целом.

7. В работе встречаются досадные опечатки. В литературном обзоре встречаются рисунки без детальных комментариев.

Перечисленные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертации.

Заключение

Считаю, что цель и задачи диссертации обусловлены актуальными проблемами науки и практики. Постановочная цель исследования достигнута. И соответствующие задачи решены на достаточно высоком научном уровне.

На основе анализа содержания диссертации, автореферата, опубликованных автором работ можно сделать следующее заключение: диссертация Благовещенского Владислава Германовича является законченной научно – квалификационной работой и по структуре рукописи, объему исследований, степени их аналитической проработки и прикладной значимости отвечает требованиям пп. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степе-

ней», утвержденного постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (ред. от 25.01.2024).

Положительно оценивая диссертационную работу, считаю, что она соответствует критериям ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор – Благовещенский Владислав Германович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.3 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами»

Заместитель директора по науке,
АО Научный центр «Малотоннажная химия»,
доктор технических наук, профессор



Бессарабов А.М

« 06 » ноября 2025 г.

107564, Россия, г. Москва,
ул. Краснобогатырская, д. 42, стр. 1
+7 (916) 901-52-07
E-mail: bessarabov@nc-mtc.ru

Подпись Бессарабова А.М. заверяю:

Директор,
АО Научный центр «Малотоннажная химия»



В.Е. Трохин