

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, доцента**

**Кайченова Александра Вячеславовича**

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 автоматизированной системы контроля и управления в потоке органолептическими показателями качества кондитерской продукции с использованием интеллектуальных технологий и 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 качества кондитерской продукции не совершенны, поскольку эта оценка осуществляется органолептическим путем с использованием методов дегустационного анализа. Возрастающие требования к качеству и конкурентоспособности выпускаемых отечественных кондитерских изделий повышают важность объективности оценки их качества за счет создания и внедрения в производственный процесс интеллектуальных систем, оснащенных современными средствами непрерывного автоматического контроля органолептических показателей в потоке. Применение высокоэффективных интеллектуальных технологий, таких как искусственные нейронные сети, системы компьютерного зрения, экспертные системы, мультиагентные имитационные технологии моделирования, системы виртуальной и дополненной реальности, цифровые двойники несомненно приведут к снижению субъективности при оценке качества продукции. Предложенный диссертантом подход позволит:

автоматизировать ручные процессы контроля и управления с использованием профессиональных знаний и опыта экспертов – дегустаторов и технологов; обеспечить систему динамически развивающейся базой знаний; вести мониторинг хода технологических процессов производства кондитерских изделий; прогнозировать и регулировать качество получаемого продукта в режиме реального времени; существенно уменьшить уровень брака; снизить потери рабочего времени, сырья и энергии. Представленная диссертационная работа направлена на 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, включающего 280 наименований, и приложений. Основное содержание работы изложено на 507 страницах машинописного текста, содержит 295 рисунков, 38 таблиц, 5 приложений.

**Первая глава** посвящена системному анализу технологических процессов (ТП) производства кондитерских изделий как объектов автоматизации с формализацией особенностей данных процессов. В рамках этой главы выбраны наиболее типичные ТП производства кондитерской продукции различной структуры (твердой, аморфной, пенообразной, желеобразной, кристаллической) и ассортимента: шоколада, в том числе пористого; глазированных помадных и пралиновых конфет; 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.

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 – структурные схемы влияния факторов исходного сырья, промежуточных операций на качество готовых кондитерских изделий на всех стадиях процесса производства. Выявлены необходимые точки контроля и регулирования. Разработаны функционально – структурные схе-

мы формирования потока качества кондитерской продукции на всех этапах их производства с указанием необходимых точек контроля и регулирования.

Проанализированы существующие стандарты 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, которые необходимо определять непрерывно в ходе технологических процессов в режиме реального времени: 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.

Показано, что существующие в настоящее время методы оценки органолептических показателей качества субъективны и определяются только путем лабораторных измерений. Рассмотрены и проанализированы существующие современные инструментальные методы и средства автоматического контроля в потоке этих показателей. Сделан вывод о невозможности использования имеющихся методов и средств для автоматизации контроля вышеуказанных показателей в режиме реального времени.

На основании полученных результатов автором выявлена потребность 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 автоматизированной системы контроля и управления качеством (ИАСКиУК) кондитерской продукции.

Диссертантом осуществлен системный анализ и сформулирована проблема исследования. Разработана структура целей, создана системная диаграмма решения проблемы, сформулированы задачи исследования, разработана концептуальная структурно-динамическая модель системы управления качеством различной кондитерской продукции в процессе производства.

**Во второй главе** диссертантом проведен анализ методов, алгоритмов и технологий с точки зрения возможности и эффективности их использования при разработке интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кондитерских изделий в процессе производства.

Автором диссертации предложено для практической реализации ИАСКиУК применить нейросетевые технологии, генетические алгоритмы, динамическую экспертную систему, системы компьютерного зрения, имитационное моделирование и эффективное сочетание этих методов. Анализ опыта

использования данных технологий и систем, а также гибридных методов их использования показал перспективность контроля и управления качеством производства кондитерских изделий в условиях нестабильности качества поступающего на кондитерские предприятия сырья, влияния многочисленных внешних факторов и режимных параметров используемого оборудования на технологические процессы.

**Третья глава** посвящена автоматизации контроля в режиме реального времени основных 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; 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 программируемых технических средств; 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 промышленного интернета вещей.

**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 автоматизированной системы контроля, прогнозирования и управления качеством кондитерской продукции в процессе производства.

**Пятая глава** посвящена методике создания цифровых двойников, используемых при производстве 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. Рассмотрены и проанализированы возможности их использования в производстве на разных этапах их жизненного цикла.

Рассмотрена научная база создания цифровых двойников, используемых при производстве кондитерских изделий, предложена общая схема исследований. Представлена V-образная диаграмма разработки ЦД. На примере линии производства шоколада показано применение комплекса инструмен-

тальных средств для создания ЦД, используемых при производстве кондитерской продукции.

**В шестой главе** рассмотрено использование кастомизации для разработки персонализированной линейки 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.

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

**Седьмая глава** посвящена разработке технических решений для реализации интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством (ИАСКиУК) 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 внедрены в учебный процесс ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет («РОСБИОТЕХ»))» на кафедре «Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами», а также используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «МИР-ЭА – 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 необхо-

димых 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 создания цифровых двойников, применяемых при производстве кондитерских изделий;
- разработаны интеллектуальные средства автоматического контроля важнейших органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции в режиме реального времени;
- разработаны алгоритмы идентификации, прогнозирования и диагностики состояния технологической системы и показателей качества кондитерской продукции в процессе производства;
- предложена и обоснована методика построения ИАСКиУК кондитерской продукции с использованием искусственных нейронных сетей и систем компьютерного зрения.

#### **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 разработанная методика накопления базы данных и формирования базы знаний интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления для идентификации, прогнозирования и диагностики хода ТП производства кондитерской продукции. Разработанные алгоритмы идентификации, прогнозирования и диагностики состояний технологических систем и показателей качества кондитерских изделий позволяют строить 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 интеллектуальной автоматизированной системы контроля в режиме реального времени органолептических показателей качества кондитерской продукции.

### **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: коэффициента извлечения примесей в сырье; внешнего вида сырья и готовых изделий; угла естественного откоса сыпучих масс; блеска поверхности готовых кондитерских изделий; формы, размера и количества изделий на транспортере; консистенции; вкуса; запаха; цвета; вязкости.

2. Разработана новая линейка оригинальной персонализированной кондитерской продукции с использованием современных технологий.

3. Создана база знаний ИАСКиУК кондитерской продукции.

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

5. Разработаны технические решения для реализации ИАСКиУК 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 пунктам 2-6, 8, 10-12, 15 научной специальности 2.3.3 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами».

### **Замечания по диссертационной работе**

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

1. В первой главе диссертации присутствует достаточно много общеизвестной информации, касающейся работы линий производства кондитерской продукции (п. 1.2), вопросов оценки качества кондитерских изделий (п. 1.4). Можно было ограничиться ссылкой на соответствующие источники информации.

2. В первой главе приведены критерии стратегической карты создания ИАСКиУК кондитерской продукции (стр. 88-90). Из текста диссертации неясно, какой математический смысл заложен в критерий 12 «Содержательность базы знаний».

3. На рисунке 3.10 показана структурная схема СКЗ для автоматизации контроля в потоке коэффициента извлечения примесей. В диссертации расшифровки блоков 1-8 данной схемы не представлено. Аналогичное замечание для рисунка 3.58.

4. В 4 главе приведены результаты исследований по получению обобщенных ситуационных моделей наличия функциональных связей между выходными показателями качества кондитерских изделий на всех стадиях технологического процесса в форме квадратной матрицы взаимосвязей (стр. 299). В работе не приведены подробные результаты опроса ведущих экспертов-технологов, результаты моделирования и сравнительного анализа использования полученных отдельных ситуационных моделей на различных стадиях технологического процесса производства исследуемых кондитерских



продуктов. Следовало бы привести подробный пример получения приведенных в этих таблицах данных. Аналогичное замечание для расчетов значений относительной погрешности, критериев Стьюдента и Фишера (стр. 224–288), расчетов значений теоретических коэффициентов поточности и собственных контуров (стр. 35–73).

5. Отсутствует математическая постановка задачи получения математических моделей процессов производства кондитерской продукции. По какому критерию ищется оптимальное решение и с помощью каких средств?

6. В тексте диссертации не описано как работает интеллектуальный анализатор запаха и как проводились эксперименты из рисунков 3.51-3.52. Какие датчики применены в составе интеллектуального анализатора запаха?

7. Из текста диссертации неясно, что соискатель понимает под терминами «режим реального времени» и «цифровой двойник производства».

8. В пункте 5.5.4 диссертации не пояснено, является ли предлагаемое решение на базе нейросети YOLO виртуальным датчиком обратной связи для определения качества кондитерских изделий при заданных условиях внешней среды в процессе моделирования производства шоколада или используется в реальном процессе как инструмент контроля качества.

9. В шестой главе подробно приведено использование кастомизации для разработки персонализированной линейки оригинальной кондитерской продукции нового поколения, при этом использование технологий виртуальной, дополненной реальности представлено слабо, хотя в названии главы это заявлено.

10. 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. Поставленная цель исследования достигнута. 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 степеней»,

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

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».

Заведующий кафедрой автоматики и вычислительной техники ФГАОУ ВО «Мурманский арктический университет», доктор технических наук (2.3.3 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами»), доцент



А.В. Кайченев  
«д» мал 2024 г.

183010, г. Мурманск, ул. Спортивная, д.13.

+7(8152) 40-33-78

E-mail: kaychenovav@mstu.edu.ru

Подпись заведующего кафедрой автоматики и вычислительной техники,  
Доктора технических наук, доцента Кайченова Александра Вячеславовича  
ЗАВЕРЯЮ

Ученый секретарь ФГАОУ ВО «Мурманский арктический университет»



Т.В. Пронина