

**ОТЗЫВ
ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

Хаустова Игоря Анатольевича

на диссертационную работу

Антонова Сергея Валерьевича

на тему **«Разработка методов и алгоритмов автоматизированного
контроля технологических процессов производства вафель на основе
цифрового двойника»,**

представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук
по специальности 2.3.3 — «Автоматизация и управление технологическими
процессами и производствами»

Актуальность диссертационного исследования

Диссертационная работа Антонова Сергея Валерьевича посвящена разработке методов и алгоритмов автоматизированного контроля технологических процессов производства вафель с использованием современной технологии цифровых двойников процессов для разработки и внедрения подсистем, обеспечивающих функционирование АСУТП на действующих предприятиях кондитерской отрасли.

Актуальность темы исследования обоснована тем, что современные подходы к контролю технологических процессов производства вафель несовершенны, так как не обеспечивают цифровую трансформацию предприятий и повышение их конкурентоспособности в соответствии с государственными программами развития отечественных производств, не позволяют реализовывать эффективный сбор и анализ данных технологических процессов для построения новых производств и модернизации действующих. Применение перспективных информационных технологий, таких как цифровые двойники для решения задач мониторинга технологических процессов должно обеспечить формирование нового подхода к организации сбора и анализа данных на уровне АСУТП, который позволит получить ощутимый экономический эффект в будущем. Особо актуальна разработка новых методов и алгоритмов в условиях многоорецептурного производства, как это сделано в данной работе, по причине того, что, на сегодняшний день, данные разных стадий жизненного цикла изделий и в разных подразделениях предприятия агрегируются изолированно и не подвергаются всестороннему и комплексному анализу.

Это в целом понижает эффективность управления производством и функционирования рынка кондитерской продукции в целом. Кроме этого, новый подход к сбору данных на разных стадиях производства вафель должен ощутимо уменьшить материальные издержки и долю брака за счёт того, что он представляет собой инструментарий эффективного сбора данных, на основе которого может реализовываться всесторонняя аналитика с установлением причинно-следственных связей. Представленная диссертационная работа направлена на решение обозначенных выше задач, что характеризует важность и актуальность её темы.

Содержание диссертационной работы

Диссертационная работа Антонова С.В. состоит из введения, 3 глав, заключения, словаря терминов и списка используемой литературы из 230 наименований. Весь объём работы изложен на 188 страницах машинописного текста, включая 56 рисунков, 18 таблиц и 7 приложений.

Во введении обоснована актуальность работы, поставлены цель и задачи диссертационного исследования, определена научная новизна, теоретическая и практическая значимость, сформулированы положения, выносимые на защиту, дана информация об апробации и публикациях автора.

В первой главе проведён глубокий анализ предметной области на основе классификационного научного подхода к публикациям по трём признакам. Дано частное понятие мониторинга технологического процесса и применимость технологии цифровых двойников в задачах сбора и анализа данных технологических процессов. Рассмотрен технологический процесс многорецептурного производства вафель, как объект исследования, приведены его функционально-структурная схема и функциональная схема автоматизации, а также таблицы параметров, подлежащих контролю в процессе производства. Дано подробное сравнение существующих методов контроля и мониторинга технологических процессов, определены их недостатки. В конце выполнена постановка задачи диссертационного исследования.

Научная новизна результатов исследования, полученных в первой главе, заключается в определении тенденций развития методов контроля технологических процессов производства на основе классификационного анализа научных работ по компонентам (п. 1.2.1, с. 37), объектам (п. 1.2.2, с. 42) и принципам (п. 1.2.3, с. 46) построения новых производственных систем, которые характеризуются многорецептурностью (большой номенклатурой) и

необходимостью повышения эффективности сбора, обработки и анализа данных на уровне АСУТП.

Вторая глава посвящена разработке методов и алгоритмов контроля технологических процессов на основе цифрового двойника процесса. В соответствии с предложенной структурой концептуальной модели, приведённой в начале главы, последовательно и полно описывается комплекс методов, входящих в её состав, а также определяющих методику контроля и формализующих основную идею диссертационного исследования, заключающуюся в использовании двух типов связанных цифровых двойников. Кроме методов и алгоритмов в данной главе приведены результаты разработки математической модели системы контроля технологических процессов производства вафель, проведена структурно-параметрическая идентификация моделей основных стадий производства вафель.

Основным результатом второй главы, обладающим **научной новизной**, является разработка нового подхода к проектированию информационного обеспечения систем автоматизированного контроля в производстве вафель, основанного на предложенном методе и двух видах цифровых двойников процессов (п. 2.1.3 с. 78-83), а также комплексе предложенных моделей и методов, необходимых для их формирования, применения (п. 2.2, с. 85-90), фиксации параметров и контроля ресурсного обеспечения технологических процессов (п. 2.6, с. 106-110).

Третья глава посвящена разработке модели информационной системы и методики контроля технологических процессов производства вафель. В данной главе предложен набор структурно-функциональных и объектно-ориентированных моделей информационной системы контроля технологических процессов. Модель информационной системы контроля технологических процессов описана в нотациях IDEF0, IDEF3, DFD и UML с разных точек зрения. Приведена модель базы данных для реализации предлагаемой методики контроля технологического процесса производства вафель. Также в данной главе показаны результаты апробации данной методики, реализован модуль поддержки принятия решений на основе разработанных ранее решений, а сама система реализована в составе SCADA-системы.

В третьей главе **научной новизной** обладают такие результаты, как алгоритмы применения предложенных автором цифровых двойников (α -ЦД и β -ЦД) (п. 3.5.5, с. 135-138) на разных стадиях жизненного цикла партии

вафельных изделий и комплекс структурно-функциональных и объектно-ориентированных моделей (п. 3.1, с. 112-113, п. 3.4, с. 116-130, п. 3.5.4 с. 133-135), являющиеся основой для создания и внедрения в реальных производственных условиях информационных систем автоматизированного контроля технологических процессов производства вафель, обеспечивающих необходимую для повышения эффективности деятельности предприятий, систематизацию и оперативный анализ параметров процессов с использованием разработанных в этой же главе моделей баз данных.

В заключении изложены основные результаты диссертационной работы и сформулированы выводы по работе.

В приложениях находятся акты о внедрении результатов работы на производстве и в учебный процесс РТУ МИРЭА, а также таблица статистических данных по браку, которые использовались при проведении исследования.

Достоверность и обоснованность результатов диссертационной работы, апробация и публикации

Достоверность и обоснованность теоретических выводов и практических результатов, полученных автором в диссертационной работе, базируется на корректном использовании методов системного анализа, моделирования, проектирования реляционных баз данных и систем АСУТП, а также соответствием работы программе стратегического развития производства РФ и связанностью исследования с реальными производственными условиями.

Теоретическая значимость выводов и результатов

Теоретическая значимость выводов и результатов заключается в разработке нового метода автоматизированного контроля технологических процессов производства вафель на основе технологии цифрового двойника процесса, который позволяет реализовывать новые подходы к сбору и анализу значений параметров технологических процессов на уровне АСУТП, а также проектировать и разрабатывать информационное обеспечение систем мониторинга и управления нового поколения на различных производствах, обладающих характеристиками, схожими с производством вафель, рассматриваемым в данной работе.

Практическая значимость результатов

Основные положения, определяющие практическую значимость, заключаются в том, что полученные в данной работе результаты позволяют обеспечивать возможность сбора и систематизации несвязанных между собой данных параметров технологических процессов многорецептурного производства вафель, обеспечивать возможность анализа данных параметров технологических процессов многорецептурного производства вафель в режиме реального времени и сокращать время решения комбинированных задач анализа технологических процессов, разрабатывать новые системы контроля технологических процессов для многорецептурного пищевого производства и масштабировать полученные результаты на другие производства, где это может быть актуально, решать различные задачи анализа и управления технологическими процессами, как например, реализация подсистемы поддержки принятия решений на базе предлагаемого комплекса методов и алгоритмов контроля. Основные результаты диссертационного исследования были переданы для внедрения на ОАО «Рот-Фронт» Холдинга «Объединённые кондитеры», ООО «Векас» и ООО «ЭлитМатик», а также были внедрены в учебные дисциплины кафедры промышленной информатики ФГБОУ ВО «МИРЭА — Российский технологический университет».

Замечания по диссертационной работе

По диссертационной работе Антонова С.В. можно сделать следующие замечания.

1. Во вводной части диссертации и автореферата дается характеристика результатов диссертационного исследования с точки зрения их научной новизны. При этом утверждается, что предложен новый метод автоматизированного контроля технологических процессов, разработан новый подход к проектированию информационного обеспечения систем управления и новая методика организации и применения систем контроля технологических процессов. Хотелось бы в ответах на замечания или в научном докладе при защите диссертации увидеть конкретные отличительные особенности предложенных разработок от уже имеющихся.

2. На стр. 101 диссертации предложены структурно-параметрические и математические модели связей параметров управления и контроля с измеряемыми параметрами технологических процессов. Для этих моделей следовало бы здесь же привести вероятный диапазон изменения

входных значений, для которых эти модели были бы применимы. Также из диссертации неясно, в каких единицах измерения производится оценка таких параметров как цвет вафель, структура листа (консистенция), хрусткость (стр. 34). Также не приведен диапазон их изменения. И наконец, непонятно каким образом автор переходит от векторной величины (цветовые модели RGB, HSB, CMYK и др.— кроме цветовой модели в оттенках серого — характеризуется вектором значений) к оценке скалярной величины Y_2 и как эта величина характеризует переход спектра от светло-желтого к светло-коричневому.

3. В первой главе диссертации приведено достаточно много информации о технологическом процессе производства вафель, его параметрах и обзору литературы по теме исследования. Можно было ограничиться ссылками на источники, а обзор литературы сократить в объеме.

4. Не ясно, почему в работе рассмотрена только одна рецептура (табл. 7), что требует пояснения.

5. На разработанной диаграмме классов системы контроля технологических процессов (рис. 34 диссертации) классы сущностей имеют наборы методов, когда как хранилища данных их обработку обычно не выполняют.

6. В разделе апробации в пункте про SCADA-систему (п. 3.6.4 диссертации) не приведена программная реализация скриптов управления технологическим процессом и интерфейсом оператора, которые бы также показывали применение разработанных структурно-параметрических моделей на практике.

7. В автореферате диссертации не приведены расшифровки обозначений П1-П6, используемых при иллюстрации статистических результатов реализованных классификационных подходов (рис. 1, в).

8. В автореферате и диссертации не приведена численная оценка заявленного эффекта внедрения в виде снижения издержек при внедрении предлагаемого комплекса методов и алгоритмов в реальных производственных условиях.

Заключение

Обобщая результаты диссертации и автореферата Антонова С.В., следует отметить, что представленная работа является законченной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно,

характеризуется чёткой последовательностью изложения и структурированностью материала, содержит новые научные результаты и положения, выносимые на защиту. Тема исследований, выбранная автором, обладает научной новизной и актуальна, а также имеет важное значение для развития отрасли пищевого производства.

Работа соответствует пунктам 2, 8, 11 и 12 паспорта научной специальности 2.3.3 — «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами».

Автореферат диссертации полностью отражает содержание работы.

Диссертационная работа «Разработка методов и алгоритмов автоматизированного контроля технологических процессов производства вафель на основе цифрового двойника» соответствует требованиям п. 9-11, 13 и 14 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (ред. от 16.10.2024 г.), а её автор, Антонов Сергей Валерьевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3 — «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами».

Заведующий кафедрой заведующий кафедрой информационных и управляющих систем Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный университет инженерных технологий», доктор технических наук, профессор

Хаустов Игорь Анатольевич  «11» ноября 2025 г.

Адрес: 394036, Россия, Воронежская область, г. Воронеж, проспект Революции, д. 19, ауд. 322

Телефон: +7 (473) 255-38-75

E-mail: kaf-ius@vsuet.ru

Подпись Хаустова И.А. заверяю: 

Начальник

УПРАВЛЕНИЯ КАДРОВ

ОЙЦЕВА  11.11.2025.