

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор

ФГБОУ ВО «МИРЭА —

Российский технологический

университет»

Н.И. Прокопов

«04» сентября 2025 г.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «МИРЭА — Российский технологический университет» по диссертационной работе Антонова Сергея Валерьевича на тему «Разработка методов и алгоритмов автоматизированного контроля технологических процессов производства вафель на основе цифрового двойника», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по научной специальности 2.3.3 — Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки)

Диссертация выполнена на кафедре промышленной информатики Института искусственного интеллекта ФГБОУ ВО «МИРЭА — Российский технологический университет» (РТУ МИРЭА) Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

В 2015 году Антонов Сергей Валерьевич окончил ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет» (ЯГТУ) по направлению 27.03.04 «Управление в технических системах» с присвоением квалификации бакалавра. В 2017 году Антонов Сергей Валерьевич окончил с отличием ФГБОУ ВО «Московский технологический университет» по направлению 15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» с присвоением квалификации магистра. В 2021 году Антонов Сергей Валерьевич окончил аспирантуру РТУ МИРЭА по направлению 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника», по её результатам была присвоена квалификация «Исследователь. Преподаватель-исследователь».

В настоящее время соискатель работает старшим преподавателем кафедры промышленной информатики в РТУ МИРЭА, где его трудовая деятельность связана с преподаванием ряда дисциплин по направлениям

подготовки бакалавров в областях автоматизации технологических процессов, проектирования и разработки баз данных и программирования.

Справка о сдаче кандидатских экзаменов была выдана в 2022 году РТУ МИРЭА.

Научный руководитель диссертационной работы — кандидат технических наук, доцент, Холопов Владимир Анатольевич, заведующий кафедрой промышленной информатики, Института искусственного интеллекта РТУ МИРЭА.

По итогам обсуждения диссертационной работы на научном семинаре кафедры промышленной информатики принято следующее заключение.

Актуальность работы

Современные тенденции формирования индивидуализированного потребления, цифровой трансформации предприятий и расширение выпускаемой номенклатуры приводят к увеличению объёма и значимости данных, которые генерируются на предприятиях в процессе реализации технологических процессов. Эти тенденции формируют важность сбора и анализа этих данных при сокращении производственных издержек и повышении эффективности предприятий. Наибольшую значимость эти процессы имеют на предприятиях, производящих большую номенклатуру изделий при реализации большого числа технологических процессов. Таким образом, возникает проблема обеспечения эффективного контроля производственных данных, которая основывается на росте их объёма и отсутствии эффективных методов их сбора и анализа.

Ввиду обозначенных тенденций формирования более индивидуализированного (кастомизированного) производства и широкого применения информационных технологий на предприятиях можно утверждать, что проблема мониторинга на основе контроля и диагностики технологических процессов является актуальной. Это подтверждают положения действующих программ развития экономики РФ. Среди этих программ можно выделить следующие: государственная программа «Развитие промышленности и повышение её конкурентоспособности», национальная программа «Цифровая экономика», дорожная карта «Технет» Национальной технологической инициативы, поддержанная Президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России 14 февраля 2017 года, программа

стратегического направления в области цифровой трансформации обрабатывающих отраслей промышленности согласно распоряжению Правительства Российской Федерации от 7 ноября 2023 г. № 3113-р в рамках проекта «Умное производство».

Все обозначенные программы направлены на развитие российского производства, которое невозможно без сбора большого объема производственных данных с использованием современных информационных технологий на разных видах производств: пищевых, машиностроительных, фармацевтических и других.

Особо актуальна модернизация и повышение эффективности контроля параметров технологических процессов в условиях производства вафель. Это обусловлено тем, что на таком типе производств на качество выпускаемой продукции влияет большое число факторов и параметров на разных стадиях производства, которые сложно формализовать, что повышает влияние человеческого фактора на процесс изготовления вафель. Также производство вафель характеризуется многорецептурностью и реализацией нескольких технологических процессов, генерирующих данные, которые нужно эффективно собирать, систематизировать и анализировать для повышения контролируемости качества на выходе. Наконец, на таких производствах может наблюдаться большое число издержек, возникающее из-за влияния человеческого фактора на качество продукции на каждом этапе её производства. С другой стороны, неэффективный и неполный сбор данных может стать причиной накопления ошибочных знаний и понижения эффективности при модернизации старых и построении новых производств по изготовлению вафель.

В ходе проведения исследовательской работы был выполнен обзор систем контроля технологических процессов, были выявлены недостатки существующих систем, которые заключаются в том, что такие системы не способны в условиях многорецептурных производств решить в полном объеме задачи, связанные с охватом разных стадий жизненного цикла изделий, ограничениями в выборе параметров технологических процессов и обеспечением цифровой трансформации предприятий.

Таким образом, тема диссертационной работы «Разработка методов и алгоритмов автоматизированного контроля технологических процессов производства вафель на основе цифрового двойника» является актуальной для автоматизации, как отрасли науки в целом и развития кондитерской промышленности и производства вафель, в частности.

Цель диссертационной работы

Целью диссертационной работы является повышение эффективности производства вафельных изделий на основе цифрового двойника за счёт разработки методов и алгоритмов автоматизированного контроля технологических процессов.

Личный вклад автора в получении результатов, изложенных в диссертации

Ключевые результаты диссертационных исследований получены лично автором, либо при его непосредственном участии. Автор самостоятельно выполнил анализ публикаций по теме диссертации, разработку моделей технологического процесса и информационной системы его контроля, активно участвовал в проведении апробации предложенной автором методики контроля технологических процессов с разработкой модуля поддержки принятия решений.

Степень достоверности полученных в работе результатов

Степень достоверности и апробация результатов обуславливается корректной постановкой решаемой задачи, обоснованностью принятых допущений и ограничений, логикой выбора и использования разрабатываемых алгоритмов, моделей и методов, подтверждением ожиданий результатами проведённых экспериментальных исследований.

Достоверность полученных в работе результатов подтверждается использованием методов системного анализа и исследованиями, проведёнными в производственных условиях ОАО «Рот Фронт», входящего в холдинг «Объединённые кондитеры».

Научная новизна полученных в работе результатов

1. На основе классификационного анализа научных работ выделены объекты, компоненты и принципы построения новых производственных систем контроля и мониторинга технологических процессов, определяющие тенденции развития методов контроля технологических процессов пищевого производства, которые направлены на повышение эффективности сбора, обработки и анализа данных на уровне АСУ ТП.

2. Разработан новый подход к проектированию информационного обеспечения систем автоматизированного контроля на производстве вафель, основанный на разработанных в данной работе двух видов цифровых двойников (α -ЦД и β -ЦД) и комплексе предложенных моделей, методов и алгоритмов их формирования и применения, для фиксации параметров и контроля ресурсного обеспечения технологических процессов.

3. Разработан комплекс структурно-функциональных и объектно-ориентированных моделей, обеспечивающих создание и внедрение в реальных производственных условиях информационной системы автоматизированного контроля технологических процессов производства вафель, хранящей информацию об этих процессах с использованием предложенных в настоящей работе цифровых двойников и баз данных, на основе которых осуществляется систематизация и оперативный анализ параметров этих процессов в режиме реального времени.

Практическая значимость работы

Практическая значимость работы состоит в следующем.

1) Классификационный подход к анализу и оценке современных информационных систем автоматизированного контроля технологических процессов позволяет определить их соответствие концепции построения систем умного производства и специализацию, что способствует построению более эффективных стратегий модернизации действующих производств в соответствии с современными тенденциями развития отрасли.

2) Разработанный метод сбора и анализа параметров технологического процесса и его ресурсного обеспечения в режиме реального времени на основе предложенного цифрового двойника процесса обеспечивает возможность сбора и систематизации несвязанных между собой данных параметров технологических процессов многорецептурного производства по изготовлению кондитерских изделий в режиме реального времени и повышения эффективности деятельности предприятия за счёт снижения влияния человеческого фактора на качество выпускаемой продукции.

3) Предложенные в данной работе структура цифрового двойника технологического процесса и его ресурсного обеспечения, а также физическая модель базы данных цифровых двойников позволяет в систематизированной форме хранить данные и обеспечивать другие производственные системы

необходимой информацией, позволяя решать различные аналитические и управленческие задачи.

4) Применение предложенных структурно-параметрических и математических моделей обеспечивает работу подсистемы поддержки принятия решений для последующего формирования рекомендаций оператору и осуществления управляющих воздействий на технологические процессы производства вафель.

5) Разработанный комплекс структурно-функциональных и объектно-ориентированных моделей обеспечивает возможность разрабатывать системы автоматизированного контроля технологических процессов для многорецептурного пищевого производства и обеспечивать цифровую трансформацию технологических процессов для повышения эффективности деятельности предприятий, поиска узких мест, решения комбинированных задач анализа и стратегий модернизации и проектирования технологических процессов.

Основные результаты диссертационного исследования прошли апробацию и были переданы для внедрения на ОАО «Рот-Фронт» холдинга «Объединённые кондитеры», ООО «Векас» и ООО «ЭлитМатик».

Некоторые результаты настоящего диссертационного исследования были внедрены в учебные дисциплины кафедры промышленной информатики ФГБОУ ВО «МИРЭА — Российский технологический университет», которые преподаются в рамках образовательных программ подготовки бакалавров и магистров по направлениям 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника», 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств», 15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и производств».

Получены соответствующие акты внедрения.

Ценность научной работы

Основным результатом диссертационного исследования является развитие теории и практики цифрового технологического контроля на основе технологии цифровых двойников.

Предложенный в работе комплекс моделей, методов и алгоритмов позволяет модифицировать традиционные подходы мониторинга и контроля технологических процессов на пищевых и других производствах, систематизировать массивы данных о ресурсном обеспечении и технологических процессах, охватывая все стадии жизненного цикла изделий.

В работе достигнута цель разработки комплекса методов и алгоритмов и предложена научная идея использования двух типов связанных цифровых двойников процессов при производстве вафель. В рамках данного производства показан практический аспект применения новой методики контроля технологических процессов, который заключается в снижении издержек при производстве вафель за счёт установленных связей параметров и систематизацию полученных производственных данных.

Научные результаты, полученные в диссертационном исследовании доведены до практического применения и представляют пользу при внедрении на предприятиях кондитерской отрасли, обладают значимостью для отрасли автоматизации контроля технологических процессов.

Соответствие диссертации требованиям, установленным п. 14

«Положения о присуждении учёных степеней»

Диссертация Антонова С.В. прошла проверку на наличие неправомерных заимствований в системе «Рукоконтекст», в результате которой выявлено, что оригинальность с учётом самоцитирования и списка литературы составляет 83,21 %.

В диссертации отсутствуют заимствования материала без ссылок автора и (или) источника заимствования. В диссертации отсутствуют результаты научных работ, выполненные соискателем учёной степени в соавторстве, но без ссылок на соавторов. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных работах.

Соответствие диссертации научной специальности

Материалы диссертационного исследования соответствуют паспорту специальности 2.3.3 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами» по её областям исследований:

2. «Автоматизация контроля и испытаний»,
8. «Научные основы, модели и методы идентификации производственных процессов, комплексов и интегрированных систем управления и их цифровых двойников»,
11. «Методы создания, эффективной организации и ведения специализированного информационного и программного обеспечения АСУТП, АСУП, АСТПП и др., включая базы данных и методы их оптимизации, промышленный интернет вещей, облачные сервисы, удаленную

диагностику и мониторинг технологического оборудования, информационное сопровождение жизненного цикла изделия»,

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».

**Полнота изложенных результатов диссертации в работах,
опубликованных автором**

Основное содержание диссертации достаточно полно отражено в 11 научных трудах, в том числе 5 в журналах, рекомендованных ВАК, 2 — в изданиях, индексируемых в Scopus и Web of Science.

Основные результаты были апробированы в 9 конференциях различного уровня.

В изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Антонов С. В. Концептуальная модель мониторинга производства вафель на основе технологии цифрового двойника // Современные наукоемкие технологии. 2025. № 1. С. 10-16.

DOI 10.17513/snt.40273.

<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80307040>

2. Кузнецов Н. А., Антонов С. В. Использование автоматного подхода для проектирования сетевой информационно-управляющей системы // Вестник компьютерных и информационных технологий. — 2024. — № 3. С. 37-43.

DOI: 10.14489/vkit.2024.03.pp.037-043.

<https://www.vkit.ru/index.php/current-issue-rus/1320-037-043>

3. Антонов С.В. Функциональное моделирование системы мониторинга технологических процессов на основе концепции цифрового двойника // Автоматизация. Современные технологии. — 2023. — Т. 77, № 8 — С. 345-351.

DOI: 10.36652/0869-4931-2023-77-8-345-351.

<https://elibrary.ru/item.asp?id=54310356>

4. Холопов В.А., Антонов С.В., Курнасов Е.В., Каширская Е.Н. Разработка и применение цифрового двойника машиностроительного технологического процесса // Вестник машиностроения. 2019. № 9. С. 37-43.

<https://elibrary.ru/item.asp?id=41148395>

5. Холопов В.А., Гантц И.С., Антонов С.В. Применение информационных технологий при решении задач мониторинга выполнения производственных процессов в концепции индустрии 4.0 // Промышленные АСУ и контроллеры. — 2019. — № 4. — С. 49-58.

DOI: 10.25791/asu.04.2019.580.

<https://elibrary.ru/item.asp?id=37288159>

В изданиях, входящих в базы данных Scopus и Web of Science:

6. Kholopov V.A., Antonov S.V., Kurnasov E.V., Kashirskaya E.N. Digital Twins in Manufacturing // Russian Engineering Research. — 2019. — No. 39. — PP. 1014-1020.

DOI: 10.3103/S1068798X19120104.

<https://elibrary.ru/item.asp?id=43255692>

7. Kholopov V.A., Antonov S.V., Kashirskaya E.N. Application of the digital twin concept to solve the monitoring task of machine-building technological process / 2019 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). — 2019.

DOI: 10.1109/RUSAUTOCON.2019.8867800.

<https://elibrary.ru/item.asp?id=41712908>

В других изданиях:

8. Антонов С.В. О проблеме брака в условиях мелкосерийного многономенклатурного производства // «Актуальные научные исследования»: сборник статей XI Международной научно-практической конференции, Пенза, 05 апреля 2023 года. — Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2023. С. 80-83.

<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50474028>

9. Антонов С. В. Разработка структуры цифрового двойника для эффективного мониторинга технологических процессов // Научный альманах Центрального Черноземья. 2022. № 1-2. С. 17-23.

<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48704580>

10. Антонов С.В. Мониторинг технологических процессов на основе цифрового двойника / Четвертая научно-техническая конференция МИРЭА —

Российского технологического университета. Сборник трудов, 20-25 мая 2019 г. [Электронный ресурс]. — М.: РТУ МИРЭА, 2019. — Электрон. опт. диск (ISO).

11. Антонов С.В. Инновационный потенциал автоматизации информационно-технических систем / Материалы Международного молодёжного научного форума «Ломоносов-2018». [Электронный ресурс] — М.: МАКС Пресс. 2018. — Электрон. опт. диск (ISO).

Выступления на конференциях

Результаты диссертационного исследования были представлены на 9 различных конференциях разных уровней. Положения диссертации и её научная новизна были высоко оценены специалистами различных областей науки и техники. Полученная обратная связь в том числе от профильных специалистов в области автоматизации технологических процессов и производств позволили внести корректировки в исследование и повысить его ценность.

ВЫВОДЫ

Диссертационная работа Антонова С.В. отвечает требованиям п. п. 9-14 Положения ВАК РФ «О присуждении учёных степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, поскольку является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена задача контроля технологических процессов производства вафель в условиях многорецептурного пищевого производства.

Научные положения соответствуют п. 2, 8, 11 и 12 областям исследований паспорта специальности 2.3.3 — «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки)».

Диссертационная работа (диссертация) Антонова С.В. на тему «Разработка методов и алгоритмов автоматизированного контроля технологических процессов производства вафель на основе цифрового двойника» рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата технических наук по научной специальности 2.3.3 — «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки)».

Заключение принято на расширенном заседании кафедры промышленной информатики Института искусственного интеллекта РТУ МИРЭА.

На заседании присутствовало 25 чел.

Результаты голосования:

«за» — 25 чел.,

«против» — 0 чел.,

«воздержались» — 0.

Протокол № 2 от 28 августа 2025 г.

Заведующий кафедрой
промышленной информатики
Института искусственного интеллекта
ФГБОУ ВО «МИРЭА — Российский
технологический университет»
кандидат техн. наук, доцент



В.А. Холопов