

ОТЗЫВ

официального оппонента **Скорняковой Елизаветы Алексеевны**, кандидата технических наук, доцента кафедры «Программная инженерия и интеллектуальные системы» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова», на диссертацию **Грошева Алексея Валерьевича** на тему «**Разработка методов и средств повышения уровня организации производства изделий технической керамики на основе алгоритмов машинного обучения**», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства

Актуальность избранной темы диссертационного исследования

В условиях реализации государственной политики, направленной на обеспечение технологического суверенитета и импортозамещение в высокотехнологичных отраслях промышленности Российской Федерации, проблема повышения эффективности отечественного производства специальных материалов, включая техническую керамику, приобретает стратегическое значение. Изделия технической керамики, обладающие уникальными физико-механическими, теплофизическими и электрофизическими свойствами, являются критически важными компонентами для авиакосмической, электронной, металлургической и медицинской промышленности. Однако, как справедливо отмечает автор, текущее состояние отрасли характеризуется существенным отставанием от мировых лидеров по ключевым показателям эффективности: уровень технологических потерь в 1,5–2 раза выше, производительность труда ниже в 2–3 раза, а общая эффективность оборудования (ОЕЕ) не превышает 70% против 85–90% у лучших мировых практик.

Диссертационное исследование Грошева А. В. выполнено в рамках актуальных задач технологической модернизации и полностью согласуется с рядом ключевых документов стратегического планирования Российской Федерации. Работа отвечает целям, поставленным в Указе Президента РФ от 07.05.2024 г. № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года», в части обеспечения ускоренного внедрения отечественных технологий, достижения технологической независимости и цифровой трансформации экономики.

Исследование также находится в русле задач, определенных Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации, а также национальных проектов «Новые материалы и химия» и «Цифровая экономика», где в качестве приоритетных направлений выделены создание новых материалов и внедрение систем искусственного интеллекта в промышленности.

В контексте задач импортозамещения и повышения конкурентоспособности отечественной продукции работа способствует решению проблемы, обозначенной в отраслевых программах развития керамической промышленности, где доля импорта в сегменте высокотехнологичной керамики достигает 65–70%, что создает критические риски для национальной безопасности.

Особую актуальность исследованию придает тот факт, что традиционные методы повышения эффективности, основанные на оптимизации отдельных технологических операций и внедрении стандартов менеджмента качества исчерпали свой потенциал. Существующие системы управления качеством ориентированы на выявление дефектов в конце производственного цикла, что при специфике керамического производства (невозможность исправления дефектов после обжига, длительность технологического цикла) приводит к значительным экономическим потерям. В данном контексте разработка и внедрение интеллектуальных систем управления производством на базе методов машинного обучения, цифровых двойников и предиктивной аналитики, адаптированных к специфике керамического производства, является своевременной и востребованной как с научной, так и с практической точек зрения.

Оценка содержания диссертационной работы и ее завершенности в целом

Диссертация Грошева А. В. является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научно-методическом уровне. Структура работы логична и полностью соответствует поставленным цели и задачам. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, глоссария, списка литературы из 320 источников и пяти приложений. Основной текст изложен на 181 странице, содержит 29 рисунков и 33 таблицы, что в полной мере отражает ход и результаты исследования.

В первой главе автором проведен глубокий системный анализ производства технической керамики как объекта организационного проектирования. Выявлены многоуровневая структура и специфические особенности производства (высокая чувствительность к параметрам, длительность цикла,

необратимость операций). На основе анализа мирового опыта ведущих производителей (CeramTec, Kuosega и др.) и концепции «Индустрия 4.0» сформирована концептуальная модель конкурентоспособного керамического производства. Завершает главу идентификация и систематизация рисков с применением методов FMEA и Bow-Tie, что создает прочную основу для последующей разработки управленческих решений.

Во второй главе решена ключевая научная задача – разработка математической модели прогнозирования качества. Автором формализована задача многокритериальной классификации, построена информационная модель с выделением 47 входных параметров. Научная новизна заключается в создании оригинальной гибридной модели, объединяющей ансамблевые методы машинного обучения (градиентный бустинг) для обработки количественных данных и аппарат нечеткой логики для формализации экспертных знаний. Верификация модели на данных реального производства (4872 записи) подтвердила её высокую точность (Accuracy 0,923, AUC-ROC 0,954) и возможность работы в реальном времени (время отклика 0,3 с).

В третьей главе представлены результаты адаптации цифровых инструментов (MES, SCADA) к специфике керамического производства. Разработана многоуровневая архитектура интегрированной информационной системы в соответствии со стандартом ISA-95. Создана система поддержки принятия оперативных управленческих решений (СППР), включающая подсистемы мониторинга, прогнозирования, генерации альтернатив и их многокритериальной оценки (с использованием методов АНР и TOPSIS). Особого внимания заслуживает реализация алгоритма выявления источников технологических потерь на основе интерпретируемого машинного обучения (SHAP-values).

В четвертой главе проведена опытно-промышленная апробация разработанных методов и средств на базе АО «ОНПП «Технология» им. А. Г. Ромашина». Подтверждена работоспособность системы в реальных производственных условиях и достигнуты значимые технические эффекты: снижение уровня технологических потерь с 48% до 30%». Статистическая значимость полученных результатов подтверждена с использованием U-критерия Манна-Уитни ($p < 0,001$), что свидетельствует о высокой достоверности выводов.

Новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Грошевым А. В. вынесены на защиту положения, обладающие несомненной научной новизной и отражающие решение задач диссертационной работы:

1. Концептуальная модель системы оперативного принятия управленческих решений, отличающаяся от традиционных (реактивных) MES-систем добавлением модуля прогнозирования на базе методов машинного обучения, интегрированного с цифровым двойником производства.

2. Гибридная математическая модель прогнозирования качества керамических изделий, отличающаяся оригинальным составом ансамбля методов машинного обучения и интеграцией с механизмами нечеткой логики. Такое сочетание обеспечивает повышение точности прогнозирования на 8–12% по сравнению с применением указанных методов по отдельности и позволяет учитывать специфические риски керамического производства.

3. Алгоритм выявления источников технологических потерь в режиме реального времени, отличающийся применением методов интерпретируемого машинного обучения (SHAP). Алгоритм позволяет локализовать причины технологических потерь с точностью до отдельной операции и формировать понятные для персонала рекомендации по их устранению.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Достоверность полученных результатов обеспечивается применением апробированных методов исследования, использованием репрезентативной эмпирической базы (более 100 000 записей производственных параметров за 2019–2024 гг.), а также корректным применением методов математической статистики ($p < 0,05$ для всех ключевых выводов). Высокая сходимость результатов прогнозирования с фактическими данными, подтвержденная в ходе опытно-промышленной апробации, и внедрение результатов на реальном производстве (акт внедрения от 15.09.2025) также свидетельствуют в пользу достоверности работы.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных автором в диссертации, является высокой и подтверждается корректным применением современных общенаучных и специальных методов исследования. Работа базируется на фундаментальных трудах отечественных и зарубежных ученых в области организации производства, управления качеством, технологии керамики и современных методах машинного обучения. Методологическая строгость обеспечивается системным подходом, использованием методов системного анализа,

математического моделирования и статистической обработки данных. Выводы логично вытекают из полученных результатов и подтверждаются практическими данными.

Теоретическая и практическая значимость научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе.

Теоретическая значимость работы состоит в развитии теории управления производственными системами в части применения методов искусственного интеллекта для многостадийных технологических процессов с высокой вариативностью параметров. Разработанные модели и алгоритмы расширяют методологию проактивного управления применительно к специфике керамического производства.

Практическая значимость заключается в создании готового к промышленному внедрению программно-аппаратного комплекса (подтверждено патентом на изобретение и тремя свидетельствами о регистрации программ для ЭВМ), позволяющего повысить производительность труда, снизить уровень технологических потерь и сократить простои оборудования. Полученные результаты использованы при подготовке курса повышения квалификации в ФГБОУ ВО «КНИТУ».

Дискуссионные вопросы и замечания по диссертации:

Несмотря на отмеченные достоинства диссертации Грошева А. В., следует обратить внимание на некоторые дискуссионные моменты, а также высказать ряд замечаний и пожеланий.

1. На рисунке 1.9 «Концептуальная модель системы поддержки принятия оперативных управленческих решений на основе цифровых двойников» (с. 44 диссертации) в схеме присутствует прогноз качества. Однако желательно уточнить, какие именно показатели качества агрегируются в интегральный критерий для построения прогноза?

2. В тексте главы 2 не вполне четко разделены задачи регрессии (прогноз численных показателей качества) и классификации (отнесение изделия к категории годности). Использование в таблице 1 одновременно метрик для регрессии (RMSE, R^2) и для классификации (F1-score) требует дополнительного пояснения о том, каким образом и для каких целей применяется каждая из них.

3. В описании гибридной модели (формула 12) автор приводит весовые коэффициенты $\alpha=0,468$ и $\beta=0,532$. Желательно пояснить, каким методом получены данные коэффициенты (например, результат оптимизации на валидационной выборке) для обеспечения воспроизводимости результата.

4. В описании гибридной математической модели (рисунок 2.2)

представлена концептуальная схема, но не приведена детальная математическая постановка задачи для модуля агрегации. Было бы интересно уточнить, каким именно образом осуществляется объединение выходов ML-компонента и нечеткого компонента.

5. Автором разработана архитектура интегрированной информационной системы и система поддержки принятия решений. В работе приведены примеры рекомендаций для операторов, однако не раскрыт механизм формирования приоритетов в ситуациях, когда рекомендации системы противоречат друг другу или требуют сложной последовательности действий.

Высказанные замечания и вопросы не снижают общей высокой оценки диссертационной работы и не влияют на обоснованность основных научных и практических результатов. Все поставленные задачи решены успешно, что позволило достичь сформулированной автором цели.

Заключение о соответствии работы критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней.

Полученные автором научные и практические результаты достоверны, сформулированные выводы и заключения аргументированы. Диссертационная работа оформлена согласно требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. По каждому разделу и по работе в целом сделаны полные и обоснованные выводы.

Результаты диссертационной работы соответствуют следующим пунктам паспорта специальности 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства:

п. 22: Разработка методов и средств организации производства в условиях организационно-управленческих, технологических и технических рисков;

п. 25. Разработка моделей описания, методов и алгоритмов решения задач проектирования производственных систем, организации производства и принятия управленческих решений в цифровой экономике.

Автореферат достаточно полно отражает основное содержание диссертации.

Опубликованные работы отражают основное содержание диссертации. Количество публикаций в рецензируемых изданиях, в которых излагаются основные научные результаты диссертации, соответствует нормативу, установленному Положением о присуждении ученых степеней.

Диссертация обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и выводы, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе Грошева А. В. в науку. Предложенные автором диссертации

методы, модели и алгоритмы аргументированы и оценены по сравнению с другими известными решениями.

Диссертационная работа «Разработка методов и средств повышения уровня организации производства изделий технической керамики на основе алгоритмов машинного обучения» соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, в действующей редакции), поскольку является завершённой, самостоятельно выполненной научно-квалификационной работой, в которой решена научная задача обеспечения технологического суверенитета Российской Федерации в области производства керамической продукции путем создания отечественного программно-аппаратного комплекса управления производством на основе методов искусственного интеллекта, что имеет существенное значение для развития страны, а автор работы Грошев Алексей Валерьевич заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства.

Официальный оппонент

Доцент кафедры «Программная инженерия и интеллектуальные системы» ФГБОУ ВО «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова», кандидат технических наук



25.03.2026г.

Елизавета
Алексеевна
Скорнякова

Специальность, по которой защищена диссертация на соискание учёной степени кандидата наук: 05.02.22 – Организация производства (радиоэлектроника и приборостроение)

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова»

190005, г. Санкт-Петербург, улица 1-я Красноармейская, дом 1

Телефон: +7 (812) 490-05-80

e-mail: skorniakova_ea@voenmeh.ru

Подпись Скорняковой Е.А. удостоверяю
ученый секретарь УС БГТУ «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова, д.т.н., доцент



Смирнова
Мария
Сергеевна
25.03.2026г.

Вход. № 05-8888

« 08 » 04 2026 г.
подпись 