

ГУАП ОД	Документ зарегистрирован
	« 19 » 11 2025 г.
	Вх. № 84-222/25

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
федерального государственного
автономного образовательного
учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский
университет ИТМО»,
технических наук, профессор
Никифоров В.О.



« 16 » октября 2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования

«Национальный исследовательский университет ИТМО»

на диссертационную работу Петуховой Екатерины Алексеевны

«Модели и методика диагностики состава полимерных композиционных
материалов»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.2.8 - «Методы и приборы контроля и диагностики
материалов, изделий, веществ и природной среды»

Актуальность темы

В условиях реализации Указа Президента Российской Федерации от 7 мая 2024 года № 309, устанавливающего цели технологического лидерства страны, и национального проекта, посвященного новым материалам, разработка и внедрение инновационных полимерных композиционных материалов приобретает важность для обеспечения независимости ключевых отраслей экономики. Широкое применение полимерных композиционных материалов в авиа- и судостроении, медицине, электронике и других высокотехнологичных сферах требует создания материалов с заданным балансом механических и электрических свойств. Однако традиционные методы диагностики состава полимерных композиционных материалов,

основанные на многочисленных дорогостоящих и длительных физических экспериментах, обладают существенными ограничениями: они ресурсоемки, требуют изготовления и разрушения большого количества образцов, создают значительную экологическую нагрузку и не всегда обеспечивают необходимую точность из-за усреднения данных и низкой чувствительности к локальным неоднородностям. Разработка моделей и методики диагностики состава полимерных композиционных материалов, основанных на машинном обучении и анализе данных, позволяет перейти к цифровой трансформации в материаловедении, что соответствует целям «Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017 - 2030 годы».

Таким образом, научно обоснованное решение по совершенствованию диагностики состава полимерных композиционных материалов с заданными механическими и электрическими свойствами является актуальным. Разработанные модели и методика позволяют существенно сократить объем лабораторных испытаний, оптимизировать материальные затраты, а также минимизировать экологический след, что соответствует целям национальных проектов «Технологическое лидерство» и «Экологическое благополучие».

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

В диссертационном исследовании Петуховой Е.А. сформулированы следующие научные положения:

1. Математическая модель определения механических и электрических свойств полимерных композиционных материалов, способствующая улучшению эксплуатационных характеристик изделий с учётом повышения уровня экологической безопасности окружающей среды.

2. Модель автоматизации определения состава полимерного композиционного материала с заданными механическими свойствами при сохранении электрических характеристик, способствующая снижению трудоёмкости испытаний на растяжение.

3. Методика диагностики состава полимерных композиционных материалов с заданными механическими свойствами при сохранении электрических характеристик, способствующая уменьшению трудоемкости, финансовых затрат проведения испытаний на растяжение, повышению надёжности материалов и обеспечению экологической безопасности окружающей среды.

Обоснованность научных положений, выводов и практических рекомендаций обеспечена глубоким анализом современного состояния проблемы, рассмотрением существующих методов диагностики, их ограничений, влияния на точность и экологию. Исследование опирается на требования актуальных ГОСТ. Применение методов машинного обучения, статистического анализа и экспериментальной валидации обеспечивает высокую достоверность и воспроизводимость результатов. Последовательное решение поставленных задач, от сбора данных и разработки моделей до их апробации, подтверждает обоснованность всех сформулированных положений.

Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций

Теоретические и практические разработки, представленные в диссертации, имеют убедительное обоснование. Логика изложения выстроена последовательно: от анализа проблематики и формирования набора данных к разработке, сравнению и верификации моделей, и, наконец, к созданию комплексной методики и ее экспериментальной проверке. Широкий охват литературных источников, применение современных алгоритмов машинного обучения и метрик оценки обеспечивают глубину исследования и достоверность выводов.

Результаты исследований достаточно полно изложены в 24 печатных работах, из них: 9 статей в ведущих рецензируемых научных журналах, в том числе 5 – без соавторов, 12 статей в других изданиях, одно свидетельство о

государственной регистрации базы данных, два свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

На основании вышеизложенного в диссертационной работе получены следующие основные научные результаты:

1. Разработанная математическая модель определения механических и электрических свойств полимерных композиционных материалов, в отличие от известных позволяет комплексно оценивать механические и электрические параметры материалов, учитывает их взаимосвязь, что способствует улучшению эксплуатационных характеристик изделий и с учётом повышения уровня требований к экологической безопасности окружающей среды.
2. Разработанная модель автоматизации определения состава полимерного композиционного материала, с заданными механическими свойствами, при сохранении электрических характеристик, в отличие от известных позволяет снизить трудоёмкость испытаний на растяжение.
3. Разработанная методика диагностики состава полимерных композиционных материалов с заданными механическими свойствами при сохранении электрических характеристик, в отличие от известных, способствует уменьшению трудоемкости и финансовых затрат проведения испытаний на растяжение. А также повышает надёжность изделий и обеспечивает экологическую безопасность окружающей среды.

Практическая значимость

Разработанная математическая модель определения свойств полимерных композиционных материалов продемонстрировала высокую эффективность, позволив сократить число необходимых экспериментов на 35% и обеспечить экономию 80% времени. Внедрение модели автоматизации определения состава полимерных композиционных материалов позволило сократить сроки подбора оптимального состава с 2 месяцев до 2 недель (ускорение на 84-88%). А также - объем лабораторных исследований сократить на 60-62%. Методика диагностики состава полимерных

композиционных материалов позволила сократить время на разработку рецептур материала на 90-95%, а затраты на проведение испытаний на растяжение – на 80-90%.

Результаты работы в деятельность ООО «ИндуТех», ООО «Масштаб», ООО «Центр инженерии, механики и робототехники», ООО «ПАНТЕС», что подтверждено соответствующими актами. Результаты диссертационного исследования использованы в учебном процессе ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» по дисциплинам «Физико-химические измерения» «Основы искусственного интеллекта в профессиональной деятельности».

Рекомендации по использованию результатов и выводов, проведённых в диссертации

Результаты работы целесообразно использовать на предприятиях, специализирующихся на разработке и производстве полимерных композиционных материалов для авиационной и космической промышленности, где предъявляются жесткие требования к удельному весу, механической прочности и специфическим электрическим характеристикам материалов. Методика позволяет совершенствовать процесс диагностики материалов для критически важных конструкций.

Внедрение результатов рекомендуется осуществлять на основе зарегистрированных в ходе работы программных средств (база данных свойств полимерных композиционных материалов, программы для ЭВМ). Их интеграция в технологические процессы обеспечит воспроизводимый и эффективный инструмент для предварительного скрининга перспективных составов и прогнозирования их эксплуатационных характеристик, что позволит сократить объем дорогостоящих и длительных экспериментов.

Отдельные элементы работы, такие как методы кластеризации данных, регрессионного анализа и сравнительной оценки метрик расстояния, целесообразно включить в учебные курсы для студентов

материаловедческих, авиационных и IT-направлений подготовки. Это будет способствовать формированию у будущих специалистов компетенций в области применения современных методов машинного обучения и анализа данных для решения актуальных задач в высокотехнологичных отраслях, таких как авиастроение.

Оценка структуры и содержания работы

Содержание диссертации полно и корректно отражает полученные результаты в прямой связи с заявленными целью и задачами исследования. Порядок изложения выстроен последовательно: от постановки проблемы и анализа нормативно-методической базы к формированию моделей и методик, их валидации и практическим рекомендациям; логика изложения выдержана на протяжении всех разделов. Используемая терминология единообразна и соответствует общепринятым представлениям области управления качеством и организации производства. Обзор научных источников охватывает отечественные и зарубежные публикации в объёме, достаточном для критического анализа существующих методов и моделей решения поставленных задач. Результаты и положения, заимствованные из работ других авторов, снабжены корректными библиографическими ссылками.

По поставленной цели, задачам, основному содержанию и полученным результатам исследования диссертационная работа соответствует п. 1. «Научное обоснование новых и совершенствование существующих методов, аппаратных средств и технологий контроля, диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды, способствующее повышению надежности изделий и экологической безопасности окружающей среды.», п. 4 «Разработка методического, математического, программного, технического, приборного обеспечения для систем технического контроля и диагностирования материалов, изделий, веществ и природной среды, экологического мониторинга природных и техногенных объектов, способствующих увеличению эксплуатационного ресурса изделий и повышению экологической безопасности окружающей среды»,

п. 7 «Автоматизация технологий, приборов контроля и средств диагностирования, способствующая снижению трудоемкости, увеличению оперативности и достоверности оценки эксплуатационного ресурса изделий, повышению уровня экологической безопасности окружающей среды», паспорта научной специальности 2.2.8 «Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды».

Замечания по диссертации

1. С. 25, рис. 3, классификация наполнителей представлена в виде сложной схемы, которая плохо читаема в текстовом формате. Следовало бы оформить ее в виде приложения с высоким разрешением или упростить для лучшего восприятия.

2. С. 33, таблица 4, в таблице указано "Влияние на точность" без количественных или относительных критериев оценки. Следовало бы всё же конкретизировать критерии оценки.

3. С. 84-85, таблица 10, таблица перегружена данными и плохо структурирована для восприятия. Целесообразно было бы основные итоговые результаты (сравнение коэффициентов Пирсона по методам) перенести в отдельную и более наглядную таблицу.

4. С. 98, "Экологические аспекты", рассматривается только углеродный след от сжигания образцов. Не учтена экологическая нагрузка от производства самих полимеров и наполнителей, которая также сокращается благодаря уменьшению числа экспериментов.

5. В зависимости от геометрии армирующих компонентов и их взаимного расположения, полимерные композиционные материалы (ПКМ) подразделяются на анизотропные и изотропные композиты. Каким образом в моделях и методике диагностики состава ПКМ учитываются данные особенности?

6. Использование различных терминов «прочность при разрыве» (например, стр. 28), «показатель прочности при разрыве» (например, таблица

6, стр. 52) и «прочность на разрыв» (например, таблица 7, стр. 56). Использование термина «относительное удлинение ...» (например, стр.29) и «удлинение» (например, таблица 6, стр. 52).

7. Требуется корректность представления данных (например, рисунки 16 и 17, таблица 9), необходимы уточнения и пояснения.

Указанные замечания не снижают ценность и общую положительную оценку диссертации, не влияют на основные научные и практические результаты и не затрагивают основных положений, вынесенных соискателем на защиту.

Заключение

Диссертационная работа Петуховой Е.А. представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, содержащую научно обоснованные технические и технологические решения и разработки, имеющие существенное значение для развития страны, вносящие вклад в решение задач совершенствования диагностики состава полимерных композиционных материалов.

По поставленной цели и задачам исследования, основному содержанию и полученным результатам диссертационная работа Петуховой Е.А. соответствует профилю научной специальности 2.2.8 «Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды».

Диссертационная работа соответствует критериям, установленным пп. 9-14 Положения «О порядке присуждения учёных степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 №842 (в действ. редакции), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. На основании вышеизложенного можно заключить, что автор диссертации Петухова Екатерина Алексеевна заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.8 «Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды».

Диссертация и отзыв рассмотрены на заседании факультета систем управления и робототехники Университета ИТМО, протокол № 3 от «16» октября 2025 года.

Доцент факультета систем
управления и робототехники
Университета ИТМО,
кандидат технических наук, доцент



Андреев Юрий Сергеевич

«16» октября 2025 г.

Сведения о ведущей организации:

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО» (Университет ИТМО)

Почтовый адрес: Российская Федерация, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49, лит. А

Официальный сайт в сети Интернет: <https://itmo.ru>

e-mail: od@itmo.ru

Телефон: +7 (812) 480-00-00, +7 (812) 232-23-07