

**ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**  
**Микаевой Светланы Анатольевны**  
**на диссертацию 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 диссертационной работы**

В современных условиях технологической трансформации и реализации политики импортозамещения, законодательно закрепленных в Указе Президента РФ № 309 от 7 мая 2024 года, особенно востребованными становятся научные исследования, нацеленные на разработку перспективных методов диагностики и контроля качества материалов. Полимерные композиционные материалы занимают ключевое место в таких стратегически важных отраслях, как авиационно-космическая промышленность, автомобилестроение, медицинское приборостроение и других высокотехнологичных сферах, где их структурно-компонентный состав непосредственно определяет критически важные эксплуатационные характеристики.

Следует подчеркнуть, что традиционные подходы к диагностике состава полимерных композиционных материалов, базирующиеся на проведении многочисленных физических экспериментов, демонстрируют системную ограниченность, проявляющуюся в ресурсоемкости, значительных финансовых затратах и выраженном негативном воздействии на окружающую среду.

Таким образом, сформулированное автором новое научно обоснованное техническое решение совершенствования диагностики состава полимерных композиционных материалов с заданными механическими свойствами при сохранении электрических характеристик является актуальным и позволяет существенно сократить объем лабораторных испытаний, оптимизировать материальные затраты и минимизировать экологический след, что полностью соответствует стратегическим ориентирам национальных проектов «Технологическое лидерство» и «Экологическое благополучие».

|         |                          |            |
|---------|--------------------------|------------|
| ИВАИ ОД | Документ зарегистрирован |            |
|         | « 17 »                   | 11 2025 г. |
|         | Вх. № 81-210/25          |            |

## Структура и содержание работы

Структура и содержание диссертации находятся в логическом единстве, соответствуют поставленной цели исследования и критерию внутренней целостности. Работа состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка литературы, содержащего 149 источников, девяти приложений.

Основной материал изложен на 159 страницах машинописного текста, включая 22 таблицы и 41 рисунок.

Во введении обоснована актуальность разработки методов диагностики состава полимерных композиционных материалов в контексте технологического развития и экологических требований. Сформулированы цель и задачи работы, направленные на создание эффективных моделей и методик диагностики.

Первый раздел посвящен анализ современного состояния полимерных композиционных материалов. Проведен комплексный анализ структуры, классификации и свойств полимерных композиционных материалов. Исследованы традиционные методы испытаний (механические и электрические), выявлены их недостатки: высокая ресурсоемкость, разрушающий характер испытаний и экологические проблемы. Особое внимание уделено необходимости разработки новых подходов для снижения затрат и повышения точности диагностики.

Во втором разделе разработана математическая модель определения свойств полимерных композиционных материалов. Предложена математическая модель, сочетающая кластеризацию данных и регрессионный анализ для прогнозирования механических и электрических свойств полимерных композиционных материалов.

Третий раздел посвящен разработке модели автоматизации определения состава полимерных композиционных материалов на основе кластеризации и метрик расстояния.

Четвертый раздел содержит методику диагностики состава полимерных композиционных материалов. Предложена методика, включающая программный интерфейс для подбора составов полимерных композиционных материалов по заданным свойствам.

Пятый раздел посвящен экспериментальному подтверждению эффективности разработанных моделей. Проведены испытания механических и электрических свойств полимерных композиционных материалов, подтвердившие высокую точность разработанных моделей. Сравнение экспериментальных данных с прогнозами показало коэффициент детерминации  $R^2 > 0.95$  для всех параметров, что демонстрирует надежность предложенных методов.

Все разделы содержат важные результаты научных исследований автора и сопровождаются развернутыми выводами. Работа изложена технически грамотным языком. Общее оформление работы соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

В автореферате кратко, логично изложены основные элементы диссертационного исследования, которые полностью соответствуют тексту диссертации.

### **Достоверность результатов проведенных исследований**

Достоверность результатов диссертационной работы, выдвинутых автором научных положений, и выводов, подтверждается применением адекватных математических моделей, корректным использованием математического аппарата, а также практической реализацией. Основные результаты диссертационной работы получили апробацию на 4 Международных научных конференций. Опубликовано в 24 печатных изданиях, из них в том числе: 5 статей, без соавторов, в изданиях, рекомендованных ВАК РФ; 9 работ в рецензируемых научных изданиях ВАК; 12 статей в других изданиях, одно свидетельство о государственной регистрации базы данных, два свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

### **Научная новизна**

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 повышению 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, повышению уровня экологической безопасности окружающей среды.

3. Разработанная методика диагностики состава полимерных композиционных материалов с заданными механическими свойствами при сохранении электрических характеристик, в отличие от известных способствует уменьшению трудоемкости, финансовых затрат проведения испытаний на растяжение, повышению надёжности изделий и обеспечению экологической безопасности окружающей среды.

### **Практическая значимость работы**

Практическая значимость проведенного исследования подтверждается снижением трудоемкости процессов диагностики состава полимерных композиционных материалов за счет сокращения количества необходимых лабораторных испытаний и уменьшения времени на обработку результатов. Разработанная математическая модель определения механических и электрических свойств продемонстрировала высокую результативность при работе с данными полимерных композитов, обеспечив определение значений свойств материалов при одновременном сокращении количества необходимых экспериментов на 35% и экономии временных затрат в размере 80%. Внедрение информационной модели определения состава полимерного композиционного материала позволило сократить сроки подбора оптимального состава с 2 месяцев до 2 недель. Достигнуто ускорение процесса определения состава на 84-88%, объем лабораторных исследований сокращен на 60-62%, что свидетельствует о комплексной оптимизации ресурсных затрат. Реализация методики диагностики состава полимерных композиционных материалов обеспечила сокращение временных затрат на разработку рецептур состава материала на 90-95%. При этом финансовые затраты на проведение испытаний на растяжение были снижены на 80-90%, что подтверждает высокую экономическую эффективность предложенных решений и их существенный вклад в снижение себестоимости исследований.

### **Замечания и вопросы по диссертационной работе Петуховой Е.А.**

1. На странице 33 диссертационной работы представлена сравнительная таблица (табл. 4) методов диагностики полимерных композиционных материалов, включая механические испытания, термогравиметрический анализ (ТГА), ИК-спектроскопию, хроматографию, электронную микроскопию и рентгеноструктурный анализ. Однако автор не раскрывает системные критерии выбора этих методов для конкретных типов материалов таких как:

1. Материалы с термопластичными и термореактивными матрицами.
2. Композиты с волокнистыми, дисперсными или гибридными наполнителями.
3. Системы с различной степенью анизотропии свойств.

2. В работе заявлено, что для прогнозирования свойств сравнивались несколько методов машинного обучения (линейная регрессия, случайный лес, градиентный бустинг и др.), и по результатам сравнения для итоговой модели был выбран метод линейной регрессии в силу его наилучших метрик. Однако известно, что более сложные модели, такие как градиентный бустинг, часто

превосходят линейную регрессию на сложных нелинейных данных. Не могли бы Вы подробнее обосновать этот выбор?

3. Разработанные модели и методика демонстрируют высокую эффективность на представленных примерах. Однако все рассмотренные кейсы касаются относительно узкого круга материалов (на основе поликарбоната с УНТ, эпоксидных смол и т.д.). Как Вы считаете, насколько предложенный подход масштабируем на более широкий класс полимерных композитов, в том числе с принципиально новыми типами наполнителей или связующих, которых не было в обучающей выборке?

4. Если пользователь задает целевые значения для нескольких свойств одновременно (например, прочность, и электропроводность, и низкая плотность), как система ранжирует результаты и определяет, какой из предложенных вариантов является "наилучшим", особенно если ни один материал не удовлетворяет всем критериям идеально?

Приведённые замечания и вопросы не снижают общего положительного восприятия представленной работы и её значимости.

### **Заключение**

В диссертационной работе Петуховой Екатерины Алексеевны изложено новое научно обоснованное техническое решение совершенствования диагностики состава полимерных композиционных материалов с заданными механическими свойствами при сохранении электрических характеристик, соответствующее стратегическим ориентирам национальных проектов «Технологическое лидерство» и «Экологическое благополучие».

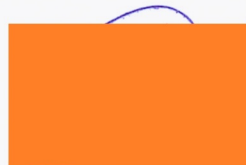
Диссертационная работа соответствует п. 1. «Научное обоснование новых и совершенствование существующих методов, аппаратных средств и технологий контроля, диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды, способствующее повышению надежности изделий и экологической безопасности окружающей среды.», 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»,

паспорту научной специальности 2.2.8 «Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды».

Таким образом, диссертация является самостоятельной законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения и разработки, имеющие существенное значение для развития страны. Работа является актуальной, полученные результаты обладают научной новизной, обоснованы на современном научном уровне, описывают законченный этап исследований. Достоверность изложенных в диссертации результатов подтверждается использованием современных методик исследования, опробованием в условиях производства.

Все перечисленное дает основание считать, что представленная диссертационная работа Петуховой Е.А., несмотря на отдельные замечания непринципиального характера, соответствует требованиям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденном Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013г. №842, соответствует специальности 2.2.8 «Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды». Автор работы заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Официальный оппонент,  
доктор технических наук,  
доцент, профессор кафедры  
электротехнических систем



Микаева Светлана  
Анатольевна

« 12 » ноября 2025 г.

Микаева Светлана Анатольевна,  
доктор технических наук, доцент, профессор кафедры электротехнических систем,  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«МИРЭА - Российский технологический университет»,  
119454, ЦФО, г. Москва, проспект Вернадского, д. 78,  
телефон: +7 (499) 600-80-80, E-mail: mikaeva\_s@mirea.ru

Подпись руки

*Микаева С.А.*  
УДОСТОВЕРЯЮЩЕЕ СВИДЕТЕЛЬСТВО  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МИРЭА - РОССИЙСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Начальник Управления кад

