

УТВЕРЖДАЮ

Ректор федерального государственного  
бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования «Тамбовский  
государственный технический университет»  
д.т.н, профессор



М.Н. Краснянский

2024 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации – федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» на диссертацию **Пчельникова Александра Владимировича** «Наномодифицированные лакокрасочные материалы для защиты строительных металлических конструкций», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.1.5. Строительные материалы и изделия

### Актуальность темы исследования

В связи с повышением востребованности в использовании строительных металлических конструкций для возведения зданий и сооружений различного назначения возникла потребность в поиске экономичных и рациональных решений по их защите. В настоящее время, текущее состояние стальных металлоконструкций многих зданий промышленных предприятий является неудовлетворительным, в виду недостаточного учета факторов, воздействующих на поверхности металлоконструкций и их защитные покрытия, что сокращает их срок службы в два-три и более раз.

Опыт отечественных и зарубежных исследователей позволяет предположить, что одним из рациональных выходов из сложившейся ситуации является применение наномодифицирующих добавок, что позволит улучшить технологические и эксплуатационные характеристики лакокрасочных покрытий, применяемых для защиты строительных металлических конструкций.

Вместе с тем, на обеспечение надежной защиты строительных металлоконструкций влияет и недостаточное в настоящий момент развитие методической базы для оценки качества лакокрасочных материалов и покрытий, что на практике может повлечь за собой выбор материалов несоответствующих условиям эксплуатации и повышенные коррозионные потери, в результате неверной оценки функциональности покрытий.

Принимая во внимание обозначенные аспекты и высокую значимость создания защитных покрытий с высокой эксплуатационной стойкостью для строительных металлоконструкций в настоящий момент, можно утверждать, что тема диссертации Пчельникова А.В. является своевременной, актуальной, обоснованно выбранной и имеет высокое научно-теоретическое и практическое значение.

### **Значимость полученных автором диссертации результатов для развития соответствующей отрасли науки**

В диссертационной работе Пчельников А.В. решил ряд важнейших задач, имеющих значение для развития строительного материаловедения, что выражается в следующих аспектах:

– Расширены и дополнены теоретические представления о принципах управления структурообразованием лакокрасочных покрытий за счет использования наноматериалов различного состава и их комплексов как регуляторов формирования сетчатой структуры полимера, обеспечивающих повышение адгезионно-когезионного взаимодействия и эксплуатационной стойкости защитных покрытий строительных металлоконструкций. Доказано, что монодобавки наноматериалов, в отличие от бинарных и комплексных, не обеспечивают эксплуатационную стойкость защитных лакокрасочных покрытий строительных металлоконструкций в широком диапазоне требований.

– Установлены закономерности изменения свойств защитных лакокрасочных покрытий строительных металлоконструкций при введении наноматериалов: адгезия, истираемость, химическая стойкость, огнестойкость, антистатичность, устойчивость к радиационным загрязнениям, теплофизические и диэлектрические характеристики. Разработана линейка составов лакокрасочных материалов с добавками различных наноматериалов, позволивших выработать рекомендации, а также составить реестр наноматериалов по их эффективному использованию для обеспечения требуемых характеристик лакокрасочных покрытий строительных металлоконструкций при эксплуатации в заданных условиях.

– Разработаны рецептуры и технология производства

наномодифицированных лакокрасочных материалов для строительных металлических конструкций, обеспечивающие создание наноструктурированных защитных покрытий с повышенной эксплуатационной стойкостью для определенных условий эксплуатации строительных металлоконструкций. В зависимости от вида используемых наноматериалов и состава ЛКМ возможно повышение следующих эксплуатационных характеристик покрытий: адгезионной прочности с 2,2–2,4 до 4,8–5,1 МПа и более при изменении характера отрыва с адгезионного (100%) на когезионно-адгезионный (K70 – 80% – A20 – 30%), огнестойкости по показателям время до воспламенения (с 12–18 до 57–65 с) и температура воспламенения (110–120 до 225–240 °С), антистатичности (снижение электрической проводимости с  $10^{-12}$  до  $10^{-5}$  Ом и тангенса угла диэлектрических потерь с 0,017 до 0,007), тепловой защиты по показателю интервала задержки тепла покрытием (с 29–31 до 65–66 °С), радиационной защиты по показателю радиационной загрязненности поверхности, которая снижается с 0,72 до 0,26 альфа-част/см<sup>2</sup> и с 0,85 до 0,43 бета-част/см<sup>2</sup>, химической стойкости по показателю равновесной степени набухания (с 0,27–0,31 до 0,18–0,21).

– Созданы методические основы и техническое оснащение, защищенные патентами РФ, для разрушающих и неразрушающих методов контроля, оценки качества и прогнозирования долговечности лакокрасочных покрытий строительных металлоконструкций: - разработаны методы исследования и изготовлено экспериментальное оборудование для определения адгезионной прочности, прочности к истиранию, огнестойкости и теплопроводности защитных покрытий; - разработаны неразрушающие методы контроля состояния лакокрасочных покрытий (способ определения состояния защитных покрытий по диэлектрическим характеристикам, способ экспресс-оценки состояния защитных покрытий), с помощью которых возможно оценить состояние покрытий на металлоконструкциях на всех этапах их эксплуатации. Прогнозирование срока службы лакокрасочных покрытий является вспомогательным фактором при принятии решения о целесообразности их ремонта.

Указанные положения подтверждают научную значимость результатов исследования для развития науки о строительных материалах.

Обоснованность сформулированных автором положений базируется на согласованности актуальных данных и научных выводов, критическом осмыслении известных теоретических положений.

Оценка достоверности результатов диссертационного исследования Пчельникова А.В. обеспечивается: комплексным подходом к решению обозначенных проблем; системным анализом научной литературы; теоретическим обоснованием предлагаемых решений; методически обоснованным комплексом исследований; результатами, полученными с помощью современных методов исследования, стандартных и авторских методик; использованием лабораторного метрологически аттестованного испытательного оборудования; необходимым количеством проведенных опытов, обеспечивающим адекватность и воспроизводимость результатов; обсуждением результатов исследований на конференциях различного уровня и их положительной апробацией в промышленных условиях.

Основные положения работы изложены в 89 публикациях, в том числе 20 статей в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ, из которых 15 – в изданиях, индексируемых базой RSCI, в том числе 9 – в журналах, отнесенных к категории *K1* (по данным 2023–24 гг.); 3 – в изданиях, индексируемых в базе данных Scopus, 13 патентов на изобретения и полезные модели.

**Научная новизна результатов исследования** заключается в успешном решении важных научно-технологических проблем, обусловленных низкой эксплуатационной стойкостью защитных покрытий строительных металлоконструкций, за счет разработки научно обоснованных рецептурно-технологических принципов получения наномодифицированных лакокрасочных материалов, заключающихся в управлении структурообразованием в процессе полимеризации, микроармировании и создании плотной сетчатой структуры покрытий путем введения комплекса наноматериалов (углеродных нанотрубок, оксида висмута, диоксида кремния), что обеспечивает повышение адгезионно-когезионного взаимодействия покрытий и их высокую стойкость в различных эксплуатационных условиях

Наиболее значимые аспекты **научной новизны** диссертационного исследования состоят в следующем:

– предложен механизм формирования единой пространственной сетчатой структуры защитных покрытий при введении в лакокрасочный материал наночастиц оксида висмута/диоксида кремния совместно с углеродными нанотрубками, заключающийся в переходе изолированных макромолекул в растяжённое состояние, что способствует формированию единой пространственной сетчатой структуры, вследствие протекания катализа гетерогенного типа, инициирующего радикальную полимеризацию лакокрасочного материала. Вводимые наноматериалы, не изменяя внутримолекулярные групповые связи в связующем веществе, выступают в качестве структурообразующих центров, инициируя удлинение полимерных цепей, что приводит к образованию большего количества межмолекулярных связей;

– теоретически обосновано и экспериментально подтверждено повышение адгезии и когезии наноструктурированных лакокрасочных покрытий за счет воздействия электрических сил, приводящих к усилению электровалентного взаимодействия в покрытии и донорно-акцепторного взаимодействия между покрытием и поверхностью стальных металлоконструкций, что происходит при введении углеродных нанотрубок, отдельно, и совместно с наночастицами оксида висмута. Изменение диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь, обеспечивает получение антистатичных защитных покрытий, что обусловлено повышением их электропроводящей способности и снижением способности покрытий к накоплению электрической энергии;

– установлен характер влияния совместного введения углеродных нанотрубок и наночастиц оксида висмута в лакокрасочный материал на структуру покрытия, заключающийся в ее изменении с глобулярной на фибриллярную, что обусловлено созданием микроармированной фрактальной структуры. Это приводит к уменьшению количества и величины выступов в покрытии (нанометровая шероховатость уменьшается с 50–60 до 10–15 нм), за счет структурирования макромолекул, в результате их перехода в растяженное состояние и образования большего количества молекулярных связей.

Следствием является упрочнение покрытия за счет уменьшения размеров углублений и микропор в поверхности, выражающееся в снижении истираемости покрытий с 0,036–0,039 до 0,021–0,025 г и повышении его устойчивости к деформационным воздействиям в 1,5–2 раза;

– выявлен усиливающий эффект от совместного введения в лакокрасочный материал углеродных нанотрубок, наночастиц оксида висмута и диоксида кремния, выражающийся в повышении огнестойкости акриловых защитных покрытий (увеличение температуры воспламенения с 110–120 до 225–240 °С, времени до воспламенения с 12–18 до 57–65 с), за счет формирования единой пространственной сетчатой структуры. Комплекс добавок наноматериалов в структуре полимера создает барьер, ограничивающий теплопередачу и диффузию летучих продуктов термического окисления и кислорода из газовой фазы при воспламенении и горении;

– установлен характер совместного влияния наноразмерных частиц диоксида кремния и цеолита как наполнителя в составе лакокрасочного материала на устойчивость к радиационным загрязнениям защитных покрытий. Введение комплекса добавок (0,5 % диоксид кремния и 1% цеолит по массе) приводит к снижению показателей радиационной загрязненности с 0,72 до 0,26 альфа-част/см<sup>2</sup> и с 0,85 до 0,43 бета-част/см<sup>2</sup>, что обусловлено увеличением ионообменной способности модифицированного покрытия;

– выявлена корреляционная зависимость между изменением диэлектрических характеристик наноструктурированных покрытий (добротность (с 46 до 65), диэлектрической проницаемостью (с 15,67 до 14,51), тангенсом угла диэлектрических потерь (с 0,028 до 0,021) и их физико-механическими свойствами (адгезия, твердость, площадь микротрещин лакокрасочных покрытий металлических конструкций) в процессе старения покрытия.

#### **Рекомендации по использованию результатов и выводов, приведенных в диссертации**

Сформулированные Пчельниковым А.В. выводы вносят существенный вклад в расширение спектра методов повышения стойкости строительных материалов в условиях воздействия физических, химических и биологических

сред на всех этапах жизненного цикла, а также для создания эффективных специальных материалов с целью защиты людей и животных, и в развитие системы контроля и оценки качества строительных материалов, что соответствует паспорту специальности 2.1.5. Строительные материалы и изделия.

Полученные выводы рекомендованы для использования: в производстве – при получении специальных наномодифицированных лакокрасочных материалов для окрашивания стальных металлоконструкций для промышленного и гражданского строительства; в образовании – в учебном процессе при подготовке бакалавров, магистров и кадров высшей квалификации, а также разработке программ повышения квалификации по направлениям «Строительство», «Нanomатериалы».

Реализована апробация и отмечена перспектива использования ряда положений диссертационного исследования в:

- научной деятельности в Новосибирском государственном аграрном университете в рамках темы ЕГИСУ-НИОКТР АААА-А19-119070490026-9, Гос. задания №13/2673, грантов Правительства Новосибирской области и мэрии г. Новосибирска;

- образовательной деятельности в учебном процессе при реализации образовательных программ бакалавриата, магистратуры и аспирантуры ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ и ФГБОУ ВО «НГАСУ (Сибстрин)»;

- производственной деятельности ООО «Лакокрасочный завод «Колорит», в контексте апробации и выпуска широкой номенклатуры лакокрасочной продукции с повышенными эксплуатационными характеристиками. В том числе, произведен выпуск опытно-промышленных партий наномодифицированных лакокрасочных материалов на основе акриловых ЛКМ для окрашивания строительных металлоконструкций, эксплуатируемых в различных климатических условиях.

- производственной деятельности различных промышленных предприятий, где производят или используют в различных условиях строительные металлоконструкции, в контексте апробации и внедрения разработанных наноструктурированных покрытий (ООО «КПД – Газстрой»,

ООО ПФК «Касор», ООО Санаторий «Озеро Карачи», ЗАО ПФ «Октябрьская»);

– деятельности организаций сферы технического контроля и экспертизы ООО «Сибтэксис» и ООО НПЦ «Техсервис», в рамках апробации в производственных условиях разработанного способа экспресс-оценки состояния защитных покрытий, который впоследствии одобрен и принят ими к использованию.

### **Дискуссионные вопросы и замечания по диссертационной работе**

1. На стр. 151 диссертации соискатель указывает рекомендуемые параметры перемешивания ЛКМ с наноматериалами. Чем они обоснованы? Что означает параметр D на рис. 3.4, б?

2. Чем обоснован выбор процента внесения наноматериалов? От массы какого компонента рассчитывалась добавка наномодификаторов?

3. В каком виде вносили наноматериалы в лакокрасочный материал? УНТ, в частности, склонны к агломерации. Применялись ли дополнительные меры по устранению этого недостатка?

4. В работе не указаны технологические этапы процесса наномодифицирования лакокрасочных материалов. Какой размерности применялись наноматериалы, используемые в работе?

5. В работе, вероятно, стоило бы рассмотреть влияние выбора метода и режима сушки лакокрасочных материалов на формирование сетчатости структуры покрытия. Влияет ли процесс выбора метода и режима сушки лакокрасочных материалов на сетчатость структуры лакокрасочных покрытий?

6. Чем обоснован выбор методики оценки диэлектрической проницаемости защитных покрытий на аппарате добротности? Более классический метод оценки в соответствии с ГОСТ 34395-2018.

7. На стр. 253 диссертации указано, что при введении наноматериалов в ЛКМ покрытие приобретает фибриллярную структуру. Какими доводами пользовался автор при формировании данного тезиса?

Указанные дискуссионные вопросы и замечания не снижают научной и практической значимости диссертационного исследования Пчельникова А.В. и носят рекомендательный характер для дальнейшего развития темы.

**Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным  
Положением о присуждении ученых степеней**

Диссертационная работа Пчельникова Александра Владимировича на тему «Наномодифицированные лакокрасочные материалы для строительных металлических конструкций» по форме и содержанию, актуальности, полноте поставленных и решенных задач, совокупности новых научных результатов, строго аргументированных и критически оцененных по сравнению с известными аналогичными результатами в данной области исследования является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, обеспечивающие высокую эксплуатационную стойкость защитных покрытий строительных металлоконструкций и их эффективную оценку качества и прогнозирование долговечности.

В автореферате диссертации отражены основные идеи, выводы и рекомендации, изложенные в диссертации, сформулированы итоги исследования, перспективы дальнейшего развития темы, представлен перечень публикаций автора, отражающих вынесенные основные научные положения работы и вклад автора в проведенное исследование. Последовательность изложения научных положений отражает логику проделанной работы.

Работа выполнена в соответствии с паспортом научной специальности 2.1.5. Строительные материалы и изделия и в полной мере соответствует п. 10. «Разработка новых и совершенствование существующих методов повышения стойкости строительных материалов, изделий и конструкций в условиях воздействия физических, химических и биологических агрессивных сред на всех этапах жизненного цикла»; п. 11. «Разработка методов прогнозирования и оценки долговечности строительных материалов и изделий в заданных условиях эксплуатации»; п. 17. «Развитие системы контроля и оценки качества строительных материалов и изделий».

Представленная диссертационная работа соответствует критериям, установленным пунктами 9-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (в действующей редакции), предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора наук, а её автор, Пчельников Александр

Владимирович, заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 2.1.5. Строительные материалы и изделия.

Диссертация обсуждена, отзыв заслушан и утвержден на заседании кафедры «Техника и технологии производства нанопродуктов» Технологического института федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (протокол № 12 от «9» июля 2024 г.).

Заведующий кафедрой «Техника и технологии производства нанопродуктов» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», доктор технических наук (05.17.08 – Процессы и аппараты химической технологии), профессор

Алексей  
Григорьевич  
Ткачев

« 9 » июля 2024 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет»

Почтовый адрес: 392000, Тамбовская область, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106/5, помещение 2.

Телефон: +7 (4752) 63-10-19; 63-04-88; 63-04-95.

E-mail: [tstu@admin.tstu.ru](mailto:tstu@admin.tstu.ru); [priem@tstu.ru](mailto:priem@tstu.ru).

Сайт: <https://www.tstu.ru>

ФГБОУ ВО «ТАМБОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Подпись Ткачев А.Г.

ЗАВЕРЯЮ

Начальник Управления кадровой политики

Л.И. Соколова

« 09 » 07 20 24.

