

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Новосибирский государственный аграрный университет

**ПРОМЫШЛЕННЫЕ ПОКРЫТИЯ.
АКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ
РЕШЕНИЯ**

Сборник трудов III Международной научно-практической
конференции

Новосибирск 2025 г.

УДК 667.6 (063)
ББК 35.74, я431
П814

Промышленные покрытия. Актуальные технические решения: материалы III Международной научно-практической конференции (21-23 мая 2025 г.) / Новосиб. гос. аграр. ун-т. Инженер. ин-т. — Новосибирск, 2025. — 57 с.

Сборник подготовлен по материалам III Международной научно-практической конференции "Промышленные покрытия. Актуальные технические решения", которая проходила 21-23 мая 2025 года. На конференции рассмотрены теоретические и методические вопросы.

Материалы сборника предназначены специалистам технического сервиса, лакокрасочной промышленности, научным сотрудникам, аспирантам, магистрантам, преподавателям и студентам профессиональных образовательных учреждений.

Редакционная коллегия:

А.В. Пчельников, А.К. Туляганов.

© Новосибирский государственный
аграрный университет, 2025

Входит в РИНЦ®: да

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВОИНСКИХ ЧАСТЕЙ И ЗАЩИТА
АВТОМОБИЛЕЙ ПУТЕМ РЕМОНТНОЙ ОКРАСКИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМИ
ВОЙСК НАЦИОНАЛЬНОЙ ГВАРДИИ**

В.Ю. Авдюшенко, преподаватель кафедры

К.И. Дубляженко, курсант

И.А. Фомченко, курсант

*Новосибирский военный ордена Жукова институт имени генерала армии И.К. Яковлева
войск национальной гвардии Российской Федерации*

Аннотация. Исследуются методики, технологии и практические подходы к нанесению лакокрасочных покрытий на автотранспорт в условиях эксплуатации современного парка военной техники. Особое внимание уделено вопросам расчета объема лакокрасочных материалов, необходимых для восстановительной окраски основных видов техники, обеспечивающей функционирование воинской части.

Проанализированы ключевые этапы технологического процесса, включая подготовку поверхностей, выбор материалов и контроль качества работ. Определена ключевая роль командиров подразделений в организации и координации работ по защите техники от коррозии, включая планирование ресурсов, подачу заявок на материалы и контроль их рационального использования. Предложены рекомендации по оптимизации списания материалов на основе анализа площади окрашиваемых элементов, с учетом специфики моделей автомобилей (на примере Урал-4320 и УАЗ).

Результаты работы могут быть применены для повышения эксплуатационной надежности техники, сокращения затрат на обслуживание и поддержания боеготовности подразделений.

Ключевые слова: ремонт, окрашивание, автомобиль, подразделения технического обеспечения, войска национальной гвардии.

Техническое обеспечение является ключевым фактором боеспособности воинских подразделений. Особое внимание уделяется эксплуатации техники в экстремальных условиях, например, в Сибирском округе, где перепады температур, использование реагентов на дорогах, контакт с топливно-смазочными материалами приводят к накоплению сложных загрязнений на поверхностях автомобилей. Эти загрязнения провоцируют коррозию, ускоряют износ деталей, затрудняют техническое обслуживание и снижают срок службы техники. Усугубляет ситуацию современная тенденция к уменьшению толщины стального проката в конструкции кузовов, что делает защиту от коррозии ещё более актуальной. Лакокрасочные покрытия как основной метод защиты. Для борьбы с коррозией ремонтные подразделения активно применяют лакокрасочные материалы. Лакокрасочные покрытия (ЛКП) для авиационной техники (АТ) обладают не только базовыми свойствами, такими как адгезия, физико-механические характеристики (эластичность, твердость, ударопрочность), защитные и декоративные функции, но и рядом специализированных свойств: влагозащита, атмосферо- и термостойкость, эрозийная и радиопрозрачная устойчивость, антистатические свойства. Разработка ЛКП, сочетающих несколько функциональных свойств, позволяет расширить сферу их применения и унифицировать процессы окраски. Ключевым фактором эффективной защиты является понимание механизма действия покрытий. Согласно исследованиям, критически важна проницаемость пленки ЛКП для агрессивных сред и кислорода, что напрямую влияет на сохранность защищаемой поверхности [3]. Проблемы и задачи, с которыми сталкиваются ремонтные подразделения: старение ЛКП приводит к дефектам (трещины, отслоения), увеличивающим проницаемость покрытий. Это требует разработки модифицированных материалов, которые сохраняют функциональность без ущерба для базовых характеристик. Существуют

функциональные и декоративные ЛКП, рассмотрим их более подробно. Функциональные ЛКП применяются для: защиты от атмосферных, химических и биологических воздействий, придания антистатических, электропроводящих свойств, увеличения износостойкости и твердости поверхностей, стабилизации полимерных материалов при транспортировке и хранении [4]. Декоративные ЛКП решают задачи: выравнивания поверхности, маскировки дефектов, создания однородного цвета и текстуры, имитации различных материалов. Особенности работы с полимерными подложками

Для обеспечения адгезии ЛКП к пластикам критически важны: подготовка поверхности: удаление разделительных смазок, механическая или химическая обработка для повышения шероховатости, выбор растворителей: они не должны вызывать деформаций или структурных изменений в полимере, контроль влажности: присутствие влаги ухудшает адгезию, поэтому поверхность предварительно обезжиривается спиртом или специализированными составами. Проблемы, такие как миграция пластификаторов из пластика в покрытие (приводит к липкости) или из покрытия в пластик (вызывает хрупкость), решаются путем нанесения промежуточных лаковых слоев и тщательного контроля состава материалов [5–7].

Основные направления разработки ЛКП

Работы ведутся по трем стратегическим направлениям: интеллектуальные адаптивные материалы и покрытия, разработка самодиагностирующихся и самозалечивающихся покрытий. Пример: внедрение эластичных сегментов в полимерную структуру для восстановления после царапин. Повышение стойкости к царапинам за счет добавок (воски, наночастицы) и оптимизации плотности структуры. Наноструктурированные и аморфные материалы: создание камуфлирующих покрытий с термостойкостью до +200°C (эмали ВЭ-69К и ВЭ-76К). Преимущества эмали ВЭ-69К: снижение оптической заметности в широком диапазоне волн. Устойчивость к маслам, топливу, грибкам. Срок службы — до 20 лет в диапазоне температур -60...+135°C [8–11]. Комплексная антикоррозионная защита: применение эмали ВЭ-76К для защиты алюминиевых сплавов и полимерных композитов. Превосходство над аналогами (АК-5178М, Aerodur HFA-132): на 15...20% выше стойкость к царапинам после воздействия агрессивных сред и в 3 раза выше атмосферостойкость.

Их популярность обусловлена:

- Доступной стоимостью по сравнению с гальваническими покрытиями или легированными сталями;
- Простотой нанесения и возможностью комбинировать материалы для усиления защиты;
- Эстетической функцией (цвет, текстура);
- Долговечностью при правильной подготовке поверхности;

Этапы подготовки к покраске:

- Очистка и обезжиривание: технологический процесс включает мойку, удаление окислов, жировых плёнок и создание шероховатости для улучшения адгезии. Используются нагретые моющие растворы и механическая обработка.

Кузовные работы:

- Сварка и рихтовка: замена повреждённых элементов, выравнивание деформированных участков. Швы обрабатываются герметиком, внутренние поверхности — антикоррозионными составами (мовиль, битумная мастика);
- Шпаклёвка: восстановление геометрии кузова с помощью стеклоткани и шпатлёвок. Каждый слой сушится, шлифуется наждачной бумагой (до зернистости 240...360) и обезжиривается;
- Грунтование: на подготовленную поверхность наносится грунт, который после высыхания матуется (зернистость 240...800 в зависимости от типа краски).

Покраска и лакирование:

- Подготовка: укрытие неокрашиваемых элементов плёнкой или бумагой для защиты от брызг;

- Нанесение краски: используется краскопульт с соплом 1,2...1,3 мм. Акриловая эмаль наносится в 3-4 слоя. Для металликов дополнительно применяется лак (2-3 слоя через 20...30 минут после базового покрытия);

- Финишная обработка: Удаление пыли липкой салфеткой перед лакированием.

Проблемы расхода материалов

Командиры подразделений сталкиваются с трудностями при расчёте объёмов краски для списания. Опыт Новосибирского военного института показывает, что решение лежит в детальном анализе площади окрашиваемых элементов. Например, для Урал-4320 кузов разбивается на зоны, рассчитывается их площадь, а затем учитываются модификации конкретной модели. Этот подход позволяет оптимизировать закупки и снизить издержки. Несмотря на стандартизацию технологий, ключевым остаётся внимание к подготовке поверхности и точному расчёту материалов. Совершенствование методов защиты от коррозии напрямую влияет на надёжность военной техники, особенно в условиях агрессивных сред.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 50574-2019. Автомобили, автобусы и мотоциклы оперативных служб. Цветографические схемы, опознавательные знаки, надписи, специальные световые и звуковые сигналы. Общие требования — Утвержден Приказом Росстандарта от 07.02.2019 № 25-ст. — Введен 01.07.2019. — Текст : электронный. — URL: <https://elekt-m.ru/pages/gost-r-50574-2019> (дата обращения: 27.04.2025).

2. ГОСТ 9.032-74. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Классификация и обозначения — Москва : Стандартинформ, 1974. — Текст : непосредственный.

3. Руководство по автотехническому обеспечению войск национальной гвардии Российской Федерации — Утверждено Приказом Росгвардии от 01.12.2017 № 512. — Текст: электронный. — URL: <https://base.garant.ru/405975747/> (дата обращения: 27.04.2025).

4. Технологические карты технического обслуживания военной техники — Росгвардия, 2023. — Текст : электронный. — URL: [официальный сайт Росгвардии] (дата обращения: 27.04.2025).

5. Статья на портале «Курганские известия». — 2023. — URL: <https://xn----7sbhblcmfacdnd4bb7bwitd4y.xn--plai/> (дата обращения: 27.04.2025).

6. Форма-одежда. — 2018. — URL: <https://forma-odezhda.com/encyclopedia/novaya-forma-nacionalnoj-gvardii-rf-rosгvardii/> (дата обращения: 27.04.2025).

7. Сайт Росгвардии — URL: <https://rosгuard.gov.ru> (дата обращения: 27.04.2025).

8. Приказ Росгвардии от 30.06.2022 № 212 «Об утверждении Инструкции по делопроизводству» — URL: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-rosгvardii-ot-30062022-n-212-ob-utverzhdenii-instruktsii/> (дата обращения: 27.04.2025).

9. Военная Символика. — URL: <https://t.me/s/armysymbol> (дата обращения: 27.04.2025).

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ЗАРОЖДАЮЩИХСЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ НА ПРИМЕРЕ ТОПЛИВНЫХ ФОРСУНОК

В.Е. Тарасенко, канд. техн. наук, доцент

Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет»

Аннотация. Представлены результаты анализа специальных методов, позволяющих детектировать зарождающиеся эксплуатационные дефекты. Приведены результаты научно-исследовательских работ по испытанию топливных форсунок CRIN2 различной наработки, а также анализа их вибрационных характеристик. Выполнены разложение исходного сигнала на уровни и регистрация амплитуд колебаний, что позволило составить характерные частоты колебаний элементов форсунки. Предложено решение, позволяющее осуществлять регистрацию и оценку вибросигналов от MEMS-датчиков.

Ключевые слова: диагностирование, метод, износ, датчик, сигнал, форсунка, спектр.

Введение

Внедрение современных средств диагностирования является одним из важнейших факторов повышения экономической эффективности использования машин и механизмов в народном хозяйстве [1,2].

Вибросигналами оценивают зазоры и некоторые дефекты сопряжений, но и один механизм эмиссирует широкий спектр реверберирующих сигналов — от десятка Гц до сотен кГц и МГц, т.е. образуется широкополосный виброакустический фон, в котором полезный сигнал скрыт. Выделить в нем нужный сигнал затруднительно. Отношение полезного вибросигнала к фону, порой, невелико и добротность диагностики невысока [3].

При виброконтроле получают разнообразные, иногда трудно понимаемые спектры, осциллограммы и другие характеристики сигналов, хотя некоторые из них имеют информативные качественные признаки и количественные характеристики. Чтобы из вибрационного фона выделить сигнал от одного механизма при работе в агрегате нескольких, требуются установка самого информативного режима работы объекта контроля, специальная установка вибродатчиков, частотная и временная селекция сигналов в виброаппаратуре [3].

Целью настоящей работы является разработка этапов диагностирования, реализация которых позволяет детектировать, распознавать и идентифицировать зарождающиеся эксплуатационные дефекты топливной форсунки.

В результате анализа источников [1,5-6,11] установлены специальные методы диагностирования зарождающихся эксплуатационных дефектов, среди которых следует выделить метод ударных импульсов и метод спектрального анализа амплитудной огибающей вибросигнала на резонансной частоте датчика (резонансный метод).

При резонансном вибродиагностировании осуществляется контроль слабой амплитуды вибросигнала в резонансной частоте пьезоакселерометра. Географическая, фазовая (временная), частотная и резонансная селекции при получении вибросигнала позволяют оценивать форму и амплитуду сигнала.

Анализ источников [1,4-7,10,12] позволил установить характерные фазы проявления дефектов для 4-тактного двигателя, а также спектральные области проявления дефектов [2].

В диагностике зарождающихся дефектов предпочтительны методы анализа нестационарной компоненты колебательного процесса, а также методы, базирующиеся на анализе нелинейных свойств колебательной системы диагностируемого объекта [11].

Зарождающийся дефект обладает малой колебательной мощностью, проявляется мерцательно, т.е. нестационарно, и эту нестационарность необходимо своевременно распознавать, прежде чем эксплуатационный дефект пройдет все стадии формирования и выйдет на поверхность.

Достаточно сложно соотнести сигналы при обращении к высокочастотным акустическим колебаниям в резонансных зонах механической системы или к колебаниям в зарезонансной области на собственной частоте встроенного вибропреобразователя. Данный подход базируется на использовании пьезоэлектрического сенсора, у которого спектральная полоса чувствительности очень мала и крайне узка. Поэтому для детектирования дефектов, обладающих малой колебательной мощностью, необходимо преобразовать их спектр (или подстроить) к рабочему спектру чувствительного пьезоэлемента, т.е. к его резонансной частоте.

В рамках гранта Президента Республики Беларусь в сфере науки на 2024 год в лаборатории технического сервиса топливной аппаратуры и агрегатов гидросистем БГАТУ были выполнены научно-исследовательские работы по тестированию топливных форсунок CRIN2 различной наработки (в том числе и новой форсунки) и последующему анализу их вибрационных характеристик. В ходе исследований использовались не пьезоэлементы, а значительно более широкополосные, при этом несколько более низкочастотные MEMS-датчики на основе микропружинной связи. Поэтому не возникало необходимости в преобразовании частоты в околорезонансную частоту для сенсора. MEMS-сенсоры не работают на таких частотах (верхнее значение составляет порядка 1,6 кГц). В результате предложен новый подход в распознавании зарождающихся дефектов, а именно: анализ степени размытости спектральных линий вибросигнала.

На специализированном диагностическом стенде CR-Jet 4E (Dieselland) с использованием разработанной многоканальной измерительной системы с гибкой структурой [3,13] проходили испытание форсунки CRIN2 (Bosch, типовой номер 0445120141) на всех режимах нагружения. Вибродатчики MPU9150 и MPU9250 жестко крепились на корпусе форсунок клейкой лентой и специальным стяжным хомутом дополнительно, а для акустики использовался цифровой миниатюрный MEMS-микрофон INMP621. В дальнейшем выполнялся анализ полученных вибрационных характеристик.

Разработанная измерительная система отображает в режиме реального времени вибросигналы относительно системы координат хуз, создает амплитудно-частотную характеристику быстрым преобразованием Фурье. Система также сохраняет сигналы для их последующей вейвлет-обработки. Изначально они записывались в бинарные файлы с расширением «bin», а позднее — в wav-файлы, с фиксацией момента перехода на следующий тест-план. Температура форсунок фиксировалась, а их шум записывался в wav-файл [3].

На основании проведенных исследований был сформирован массив данных, представленный в виде лабораторного журнала. Элементы массива данных упорядочены в зависимости от режима нагружения исследуемой форсунки с представлением проекций полученного сигнала на оси пространственной декартовой системы координат. Для каждого элемента набора данных выполнено преобразование Фурье, что позволяет выявить характерные изменения спектра сигнала для исправных и изношенных форсунок (рис. 1, 2). Для данных тестирования при максимальной нагрузке дополнительно выполнены вейвлет-преобразования и математическая обработка сигналов вибрации новой форсунки и форсунки, на ответственных деталях которой выявлены следы изнашивания.

Целью дальнейшего программного диагностирования топливных форсунок является выявление в вибросигнале выраженных гармоник с контролем их поведения [14]. Суть данного решения сводится к обработке спектрограмм (скейлограмм) как изображений методами цифровой обработки многомерных сигналов.

В качестве множества параметров контроля поведения гармоник (идентификационного вектора) вибросигнала выступают:

- количество выраженных гармоник в вибросигнале;
- номер (или частота) выраженной гармоники в вибросигнале;
- пиковые частоты в поведении выраженных гармоник во времени.

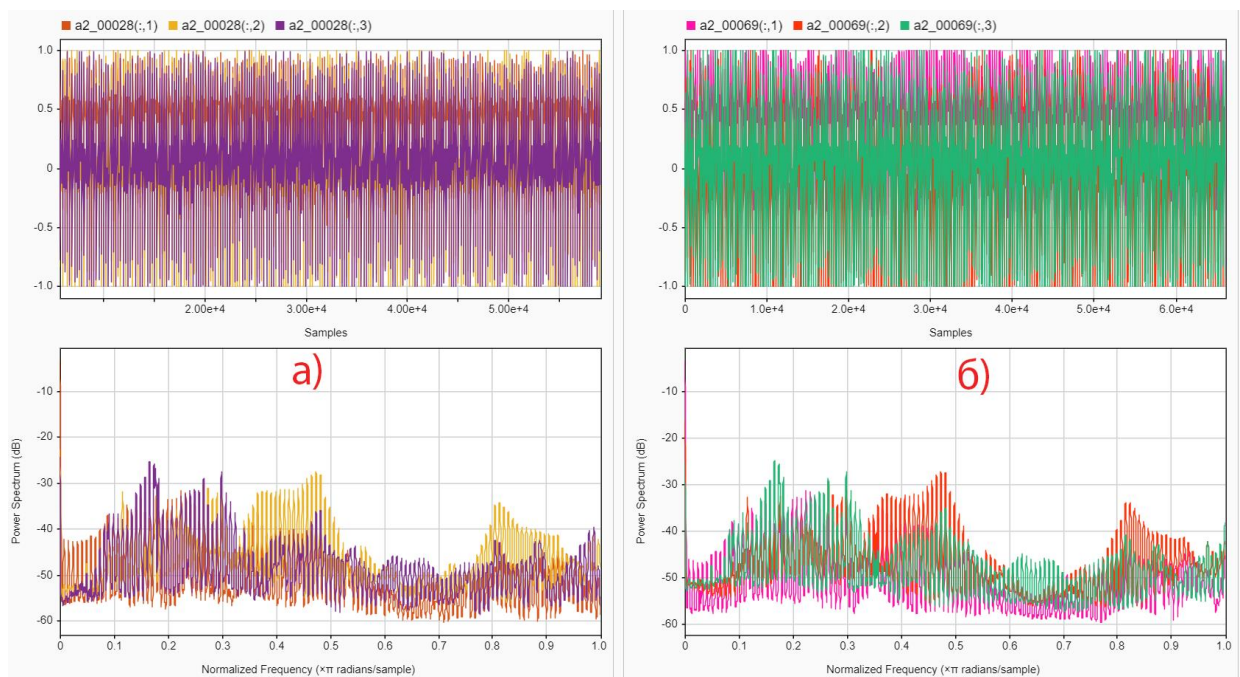


Рисунок 1 — Результаты тестирования исправной форсунки (режим VL): а, б — исправная форсунка, первое испытание (1600 бар, импульс 2000 мкс, ирт 400, подготовка 50, циклы 1000, соударения)

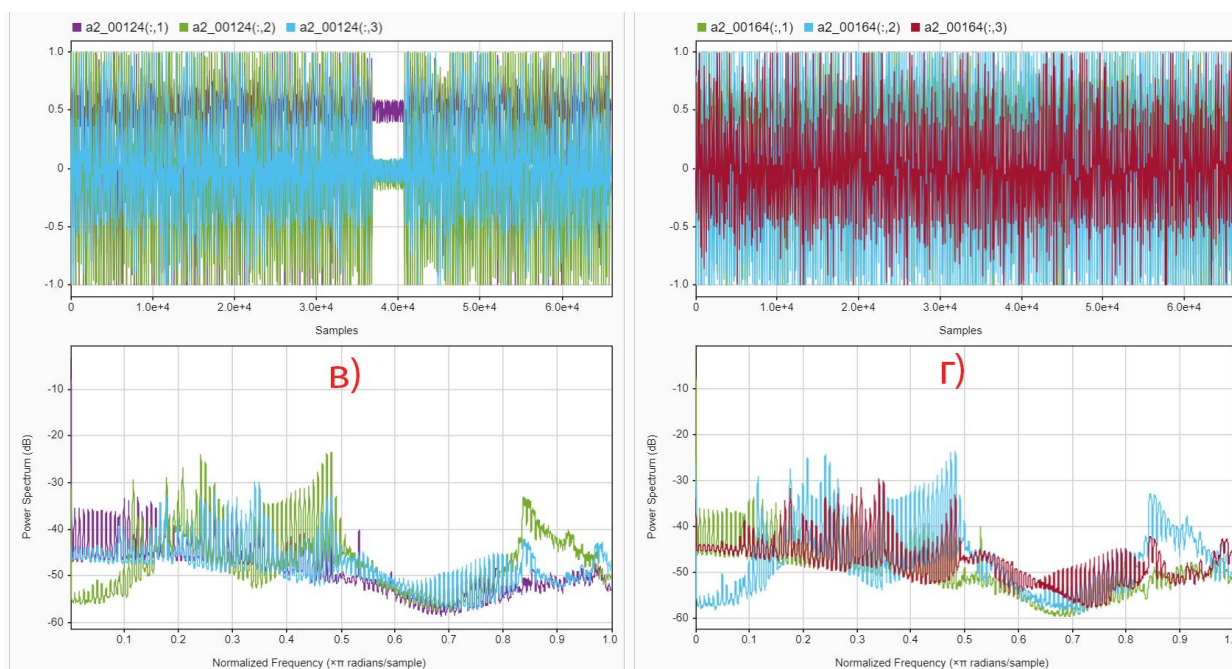


Рисунок 2 — Результаты тестирования форсунки со следами износа: в, г — форсунка с умеренным износом посадочной поверхности клапана (режим VL)

При вычислении идентификационного вектора параметров спектрограммы определяется множество данных, на основе которых однозначно можно распознать режим диагностирования (VL, TL, LL) и судить о состоянии топливной форсунки.

Для форсунок, на ответственных деталях которых выявлены следы изнашивания, характерен менее выраженный спектр постоянства колебаний.

Таким образом, предложен технологический подход вибрационного диагностирования топливных форсунок с использованием разработанного многоканального прибора интегрированного виброакустического и теплового диагностирования на базе специализированного диагностического стенда.

В ходе программного диагностирования топливных форсунок разработан новый метод выявления в вибросигнале выраженных гармоник с контролем их поведения. Результат подхода формируется при обработке спектрограмм (скейлограмм) как изображений методами цифровой обработки многомерных сигналов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балицкий, Ф.Я. Виброакустическая диагностика зарождающихся дефектов / Ф.Я. Балицкий, М.А. Иванова, А.Г. Соколова [и др.]. — М.: Наука, 1984. — 119 с.
2. Тарасенко, В.Е. Использование методов функционального диагностирования автотракторных двигателей / В.Е. Тарасенко // Современные проблемы и пути развития технического сервиса в АПК: материалы Междунар. науч.-практ. конф., г. Минск, 5–6 июня 2024 г. / Белор. гос. аграр. техн. ун-т; редкол.: Л.М. Акулович [и др.]. — Минск: БГАТУ, 2024. — С. 49-55.
3. Диагностирование многоканальной измерительной системой с гибкой структурой форсунок фирмы BOSCH / А.А. Жешко, В.Е. Тарасенко, О.Ч. Ролич, А.В. Дунаев // Технический сервис машин. — 2021. — Т. 59. — № 1 (142). — С. 55-64.
4. Коновалов, А.И. Диагностируем на «Дельфине»: методич. пособие / А.И. Коновалов, О.Н. Лукьяненко. — Луганск, 2006. — 100 с.
5. Мордасов, В.И. Лазерная виброакустическая диагностика дефектов многослойных конструкций: учеб. пособие / В.И. Мордасов, Н.А. Сазонникова, С.А. Сорокина [и др.]. — Самара: СГАУ, 2008. — 80 с.
6. Ширман, А.Р. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования / А.Р. Ширман, А.Б. Соловьев. — М.: 1996. — 276 с.
7. Jorge Duarte-Forero. Failure analysis in single-cylinder diesel engine SK-MDF300 through acoustic emissions / Duarte-Forero Jorge, Sergio Andrés Ramón-Ramón, Guillermo Valencia-Ochoa // Respuestas, Journal of Engineering Sciences. — 2020. — 25 (2) May-August. — P. 83-90.
8. Elamin, Fathi. Fault Detection and Diagnosis in Heavy Duty Diesel Engines Using Acoustic Emission / Fathi Hassen Elamin // Doctoral thesis, University of Huddersfield. — November 2013. — 265 p.
9. B. Ribbens, William. Incipient failure detection in bus engine components / William B. Ribbens, Mitra Naaseh // Center for Transit Research and Management Development University of Michigan Transportation Research Institute. — MARCH, 1987. — 71 p.
10. Chaitidis, G.D. Vibration Analysis of a Common Rail Diesel Engine using Biodiesel: A Case Study / G.D. Chaitidis, T.S. Karakatsanis, V. Kanakaris [et al.] // Journal of Engineering Science and Technology Review. — 2019. — № 12 (5). — P. 167-175.
11. Генкин, М.Д. Виброакустическая диагностика машин и механизмов / М.Д. Генкин, А.Г. Соколова. — М.: Машиностроение, 1987. — 288 с.
12. Тарасенко, В.Е. Анализ вибрационных характеристик форсунок CRIN2 автотракторных дизелей / В.Е. Тарасенко // Аграрное образование и наука для агропромышленного комплекса: материалы республиканской науч.-практ. конф. (БЕЛАГРО-2024) / редкол.: В.А. Самсонович (гл. ред.) [и др.]. — Горки: БГСХА, 2024. — С 254-257.
13. Тарасенко, В.Е. Результаты диагностирования форсунки CRIN2 дизеля трактора «Беларус-3522.5» / В.Е. Тарасенко, О.О. Мухля, М.Д. Бобриков, Д.Д. Попека // Проблемы и перспективы развития инженерной науки в АПК: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 65-летию работы кафедры эксплуатации и ремонта машин инженерного факультета и 90-летию докт. техн. наук, профессора, почетного работника высшего профессионального образования Российской Федерации Зорина Александра Ивановича, г. Ижевск, 13–15 февр. 2024 г. / Удмурдский гос. аграрный ун-т. — Ижевск: УдГАУ, 2024. — С. 47-53.
14. Патент BY23682, МПК G01M 15/00, G06K 9/62 (2006.01). Способ идентификации дефектов двигателя внутреннего сгорания транспортной или тяговой машины: № а 20200037: заявлено 03.02.2020: опубликовано 28.01.2022 / В.Е. Тарасенко, О.Ч. Ролич; заявитель: Бел. гос. аграр. техн. ун-т. — 7 с.

ИЗМЕНЕНИЕ ЦВЕТА ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ ВООРУЖЕНИЯ, ВОЕННОЙ И СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

С.С. Зарецкий, начальник лаборатории

А.К. Сметанин начальник тренажера

И.А. Фомченко, курсант

К.И. Дубляженко, курсант

Новосибирский военный ордена Жукова институт имени генерала армии И.К. Яковлева войск национальной гвардии Российской Федерации

Аннотация. В статье раскрыты проблемы окрашивания автобронетанковой техники в войсках национальной гвардии РФ. Определены пути решения данной проблемы и раскрыт порядок окрашивания автобронетанковой техники.

Ключевые слова: лакокрасочное покрытие, цвет, военная техника, эмаль

Цвет вооружения, военной и специальной техники (далее — ВВСТ) и элементов оборудования парка определяют специальные разработанные руководством Росгвардии нормативные документы. Их окраска зависит от того, в каких целях они будут использоваться.

Оборудование автомобильного парка окрашивается не только для эстетики, но в первую очередь с целью соблюдения норм охраны труда военнослужащих. Цветовая схема у этого оборудования составлена таким образом, чтобы опасность была видна издалека. К примеру, границы смотровой ямы окрашиваются в желто-черный цвет, что сразу выделяет её от остального оборудования. [1, с. 5]

Что касается ВВСТ, то у некоторых марок военной техники цвет определен заводом-изготовителем, [2, с. 7] но для лакокрасочного покрытия специальных и бронированных машин разработан руководством Росгвардии приказ №414, в котором определено, как и в какой цвет красить ВВСТ [3, с. 17]. Лакокрасочное покрытие должно иметь матовый или гляцевый оттенок.

Важным моментом лакокрасочного покрытия ВВСТ является не только придание ей нужного вида, который определяет предназначение машин, но, и, в первую очередь сбережение кузова автомобиля от воздействия вредных факторов, под влиянием которых может образоваться коррозия. В случае образования коррозии увеличивается риск выхода из строя тех механизмов, узлов и агрегатов, защищать которые предназначен кузов.

Требования к лакокрасочному покрытию военной техники серьезные: покрытие должно выдерживать как воздействие любых погодных условий, так и быть стойким к воздействию технических ядовитых веществ, таких как: топливо, автомобильные масла и прочие жидкости, используемые при работе с ВВСТ [4, с. 6].

Со временем лакокрасочное покрытие техники выгорает из-за воздействия солнечного света (рис. 1).

Поэтому необходимо постоянно поддерживать технику в чистоте и надлежащем виде, установленном нормативными документами. Техника, находящаяся в автомобильном парке военного института, эксплуатируется в различных условиях, на танкодроме, где грязь и пыль, принимает участие в парадах, причем зачастую это одна и та же машина. Естественно, что после каждого выезда техники перед постановкой на стоянку ее моют.

В связи с этим каждый год приходится полностью перекрашивать лакокрасочное покрытие техники института, а также другое оборудование парка.



Рисунок 1 — Изменение цвета за 10 месяцев эксплуатации

С покраской оборудования автомобильного парка больших сложностей не возникает, что нельзя сказать о процессе покраски военной техники. Процесс трудоёмкий: машина очищается полностью от грязи, кузов и внутреннее пространство обезжиривается, удаляется ржавчина и наносится краскопультom новый слой краски поверх старого, при этом машина красится и сохнет на улице. Это уже достаточно большой объем работы, в связи с чем снимать слой старого лакокрасочного покрытия нецелесообразно в связи с большими временными затратами. Да и эта работа не решила бы проблему, так как лакокрасочное покрытие поступающей новой техники имеет те же недостатки. Таким образом, метод пневматического распыления нового лакокрасочного покрытия на старый слой остается единственным возможным методом покраски техники. Тем самым многослойность лакокрасочного покрытия увеличивается от года к году [4, с. 8].

Например, площадь окрашиваемых поверхностей корпуса и башни БТР-80 составляет 69 м² (табл. 1) [5, с. 200]. Согласно приказу № 414 Росгвардии от 29 сентября 2019 г. потребуются эмали трех цветов матового оттенка, (рис. 2) для этого используется эмаль НЦ-132. В инструкции к эмали НЦ-132 производства ООО «Белрегионцентр» минимальный расход составляет 100 г на 1 м². Таким образом для покраски нам потребуется 6,9 кг эмали.

С учетом применения метода пневматического распыления эмали перемешиваются с растворителем-646 в пропорции 1:4, что составляет 2,2 литра. Для покраски боевого отделения и отделения управления площадь которых составляет 48 м², согласно тому же приказу, нам потребуется 4,8 кг серой эмали и 0,6 л растворителя. В итоге для покраски одного БТР-80 нам требуется 11,7 кг эмали и 2,8 л растворителя (табл. 2).

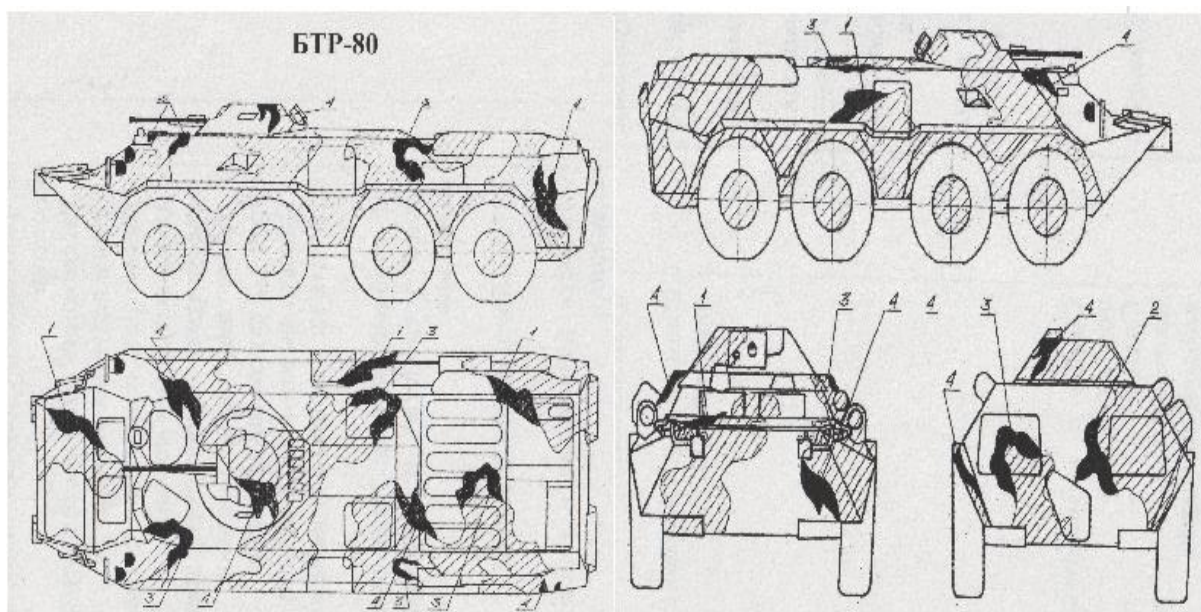


Рисунок 2 — Схема окрашивания БТР-80

Таблица 1

Площадь поверхностей для окрашивания БТР-80

Элементы	Площадь, м ²
Правая сторона	16,2
Левая сторона	16,2
Перед низ	3,65
Смотровые люки	3,93
Корма	3,07
Днище	9,7
Верх и щиток	13,5
Диски колес	2
Башня	0,7
Внутри	48

Таблица 2

Площадь поверхности по цветам окрашивания БТР-80

Цвет окрашивания	Площадь, м ²
Защитный	34
Песочный	25
Черный	10
Серый	48

Помимо покраски самого ВВСТ в должном виде должны поддерживаться оборудование парка. Их в парке также большое количество: от уличных, таких как смотровая яма, до находящихся в хранилищах.

Как видно эмали и растворителя расходуется достаточно много. Потому еще одним немаловажным аспектом является их стоимость.

Подбирать эмали необходимо по каталогу эмалей в специализированных магазинах, чтобы не ошибиться с выбором нужного цвета.

Эмали используются для нанесения лакокрасочного покрытия техники следующих видов: автоэмаль Vika глянцевого оттенка, она более стойкая к воздействию солнечных лучей, и эмаль НЦ-132 матового оттенка, которая выгорает за летний сезон эксплуатации.

Эмаль НЦ-132 вызывает больше трудностей в поиске торгового представителя. Помимо того, что нужно найти большой объем по приемлемой стоимости, так еще трудности возникали с подбором нужного цвета.

До сих пор многие военнослужащие, работающие с военной техникой, находятся в поиске доступных методов сбережения лакокрасочного покрытия ВВСТ и оборудования парков.

Использование различных отвердителей, растворителей при подготовке к покраске должного эффекта не дают. Вместе с тем для сбережения лакокрасочного покрытия были опробованы воск, силикон, но в связи с частой мойкой кузова данный метод нецелесообразен [6, с. 7].

Проблема поддержания необходимого качества лакокрасочного покрытия военной техники и оборудования парка осталась не решенной до сих пор.

Выходом из сложившейся ситуации видится появление на рынке эмалей, имеющих, помимо свойств согласно ГОСТ 51961-2008, атмосферостойкости, водостойкости, маслобензостойкости, термостойкости электроизоляционной, еще и стойкость к воздействию прямых солнечных лучей. При этом наноситься она должна методом пневматического распыления на легированные стали. Стоимость ее должна быть не высокой, а объемы производства покрывать потребность Росгвардии и других организаций, сталкивающихся с такими проблемами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Приказ №30 Директора Федеральной службы войск национальной гвардии Российской Федерации — главнокомандующего войсками национальной гвардии Российской Федерации «О требованиях к оборудованию парков воинских частей и мест хранения (стоянки) транспортных средств войск национальной гвардии Российской Федерации» от 2 февраля 2018 г.

2. Приказ №512 Директора Федеральной службы войск национальной гвардии Российской Федерации — главнокомандующего войсками национальной гвардии Российской Федерации «Об утверждении руководства по автотехническому обеспечению войск национальной гвардии Российской Федерации» от 1 декабря 2017 г.

3. Приказ №414 Директора Федеральной службы войск национальной гвардии Российской Федерации — главнокомандующего войсками национальной гвардии Российской Федерации «Об утверждении руководства по танкотехническому обеспечению войск национальной гвардии Российской Федерации» от 29 сентября 2017 г.

4. Актуальные вопросы окрашивания военной техники / Д.В. Вилисов, О.Л. Ходоркин, А.Н. Луняка, А.В. Пчельников // Промышленные покрытия. Актуальные технические решения: Материалы II Всероссийской научно-практической конференции, Новосибирск, 25 мая 2024 года. - Новосибирск: ИЦ НГАУ «золотой колос», 2024. — с. 3-8.

5. Усатый С.А.; Ильиченков А.А.; Додонов А.П.; Иванников А.Б.; Тухватуллин Б.Т. Бронетранспортер БТР-80 — учебно-методическое пособие, часть 1, издание 3 — Новосибирский военный ордена Жукова институт имени генерала армии И.К. Яковлева войск национальной гвардии Российской Федерации 2020 г.

6. Анализ средств для защиты лакокрасочных покрытий автомобилей / В.А. Волошин, А.В. Пчельников, А.П. Илясов, Д.В. Вилисов // Состояния и инновации технического сервиса машин и оборудования: Материалы XIII международной научно-технической конференции, посвященной 70-ти летию кафедры надежности и ремонта машин ФГБОУ ВО Новосибирского ГАУ, Новосибирск: Издательский центр Новосибирского государственного аграрного университета «Золотой колос», 2021 — с. 5-8

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА РЕЖИМОВ НАПЫЛЕНИЯ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ЛАТУННЫХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН МЕТОДОМ ХГДН ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ НАИБОЛЬШУЮ ПРОЧНОСТЬ СЦЕПЛЕНИЯ

А.О. Комаров, студент магистратуры

А.Ю. Понизовский, к.т.н., доцент

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования Новосибирский государственный аграрный университет*

Аннотация. В статье рассмотрено влияние технологических параметров процесса восстановления деталей машин, при выборе режимов напыления установкой «ДИМЕТ» способом холодного газодинамического напыления (ХГДН) с использованием порошковых материалов при восстановлении деталей (ремонт) изготовленных из латунных сплавов, например марки: Л63, ЛС59-1.

Дается краткая характеристика и применение метода ХГДН. Обозначены основные параметры, регулирующие процесс нанесения покрытий данным методом. Также в статье обозначены практические рекомендации при выборе оптимального режима напыления установкой «Димет» для восстановления деталей из латунных сплавов.

Ключевые слова: Установка «ДИМЕТ», режим напыления, износ, восстановление.

Нанесение покрытий с помощью метода ХГДН широко используется для восстановления поврежденных в процессе эксплуатации деталей, а также ремонта вследствие механических повреждений. Дает возможность: осуществить герметизацию течей в трубах и емкостях; наносить электропроводящие, антикоррозионные и антифрикционные покрытия.

В настоящее время данный метод является наиболее динамично развивающимся для нанесения защитных покрытий и придания различных функциональных свойств материалам [1].

Одно из направлений в решении проблемы ремонта и восстановления деталей и покрытий, является постоянная разработка новых технологических процессов нанесения высокопрочных покрытий на основе порошковых материалов методом ХГДН [2,3].

Для восстановления работоспособности изношенных деталей требуется в 5...8 раз меньше технологических операций, чем на производство новых деталей. Согласно данным изношенные детали можно восстановить при износе более 1 мм, т.е. их работоспособность восстанавливается при нанесении покрытия незначительной толщины [4,7].

Модели оборудования «ДИМЕТ» малогабаритны, портативны, универсальны, предназначенные для автоматизированной или ручной работы. Их мобильность дает возможность применения в необходимом месте. Благодаря большой скорости рабочего потока воздуха, может применяться и для абразивной чистки поверхности [3].

Установки «ДИМЕТ» эффективно используются в любом температурном режиме и уровне влажности.

Процессом нанесения покрытий установкой «ДИМЕТ» можно управлять основными показателями такими как: давлением торможения, температурой торможения ускоряющего газа и количеством расхода порошкового материала. Величина расхода порошкового материала в процессе напыления как правило устанавливается около 0,3...0,5 граммов в секунду. Проводится при температуре от 120°C. Рекомендуемое при выполнении всех работ по напылению покрытий давление торможения составляет 0,45...0,70 МПа (4,5...7,0 атмосфер) [4].

Некоторые детали машин, выполнены из цветных металлов и сплавов. Так, например, бачки и трубки водяного и масляного радиаторов — из латуней Л63, Л90. Трубки

пневматических тормозных систем, топливо провода, детали радиаторов - из латуни марки Л96 и т. д. [6].

Названия латуней, изготавливаемых в России, определяются стандартом ГОСТ 15527-70 «Сплавы медно-цинковые (латуни), обрабатываемые давлением. Марки» [5].

Величина и характер износа определяет процесс восстановления, который должен обеспечить восстановление детали для дальнейшей её эксплуатации и быть экономически целесообразным.

При выборе режимов напыления установкой «ДИМЕТ» для восстановления деталей из таких сплавов, необходимо учитывать состав сплава и обеспечивать химическую совместимость между наносимым покрытием и деталью [4].

Настройка режимов напыления и выбор оптимальных параметров зависит от нескольких факторов: состав сплава, состояние поверхности детали, требования к покрытию и конструктивные особенности установки [3].

Таким образом, учитывая эти факторы, выбор оптимального режима напыления установкой «ДИМЕТ» для восстановления деталей из латунных сплавов зависит от требований процесса и конкретных условий, в том числе их использования. Поэтому необходимо учитывать требования к составу сплава, механическим свойствам покрытия, технологические характеристики установки.

Цель исследования — выбрать оптимальный технологический режим ХГДН, при котором обеспечивалось бы максимальная прочность сцепления (адгезия) напыленного слоя с рабочей поверхностью детали.

Для осуществления поставленной цели был проведен ряд экспериментов, которые включали в себя определение влияния температурного режима, угла напыления и расхода порошка на качество сцепления (адгезия) напыленного слоя. В качестве порошка был взят порошок марки С-01-11, который предназначен для заполнения каверн и других дефектов в стальных, чугунных, бронзовых и латунных деталях.

Результаты значений адгезии напыленных покрытий, которые наносились в зависимости от температуры нагрева воздуха, количества подаваемого материала и угла наклона соответственно представлены в таблицах 1, 2, 3.

Таблица 1

Влияние температуры (Т)

Температура нагрева, °С	Расход, г/с	Угол, °	Адгезия, МПа
120	0,2	60	5,1
360	0,4	90	5,9
600	0,5	75	4,3

Из таблицы видно, что с увеличением температуры адгезионная прочность покрытий снижается. Согласно исследованиям, лучший результат, достигнут при нагреве воздуха до 360°, расходом порошка 0,4 г/с, нанесением напыления под углом 90°.

Таблица 2

Влияние расхода (Q)

Расход, г/с	Температура нагрева, °С	Угол, °	Адгезия, МПа
0,2	600	60	4,4
0,4	120	90	5,4
0,5	360	75	6,2

Из таблицы видно, что при напылении с расходом 0,5 граммов в секунду, получен лучший результат показателя адгезии. Температура нагрева составляла 360 °С. При более высокой температуре и небольшим расходом порошка, в данном случае 0,2 грамма в секунду, результат показателя адгезии полученного покрытия снижается.

Влияние угла (γ)

Угол, °	Расход, г/с	Температура нагрева, °С	Адгезия, МПа
60	0,5	120	4,3
75	0,4	360	6,3
90	0,2	600	4,5

Из таблицы видно, что максимальное значение показателя адгезии достигается при угле напыления 75° при температуре нагрева 360°C .

Таким образом, по результатам экспериментов можно сделать вывод, что максимальное сцепление (адгезия) и качество напыленного слоя достигаются при выборе следующих технологических режимов: температура торможения $T = 360^\circ\text{C}$; расход порошка (С-01-11) $Q = 0,5$ грамм/сек; $\alpha = 75^\circ$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беззубцева М.М., Волков В.С. Энергоэффективные электро-технологии и электрооборудование агроинженерного сервиса, природопользования, переработки и хранения сельскохозяйственной продукции: практикум для обучающихся по направлению 35.04.06 Агроинженерия. СПГАУ, 2018 - 222с.
2. Веб-сайт компании WikiMetall.ru: <https://wikimetall.ru/metalloobrabotka/gazodinamicheskoe-napylenie-metalla.html>
3. Веб-сайт Металл//<https://stal-kom.ru/kholodnoye-dinamicheskoye-napyleniye-metalla/>
4. Веб-сайт компании «Димет»// <https://dimet.info/>
5. Веб-сайт Avtotex-Inform.ru: // <http://avtotex-inform.ru>
6. Иванов В. И., Костюков А. Ю., Денисов В. А., Задорожний Р. Н., Донской Д. В., Назаров А. А. Восстановление деталей импортных двигателей во втором автобусном парке Москвы. Ремонт, восстановление, модернизация. 2013. № 5. С. 3–1
7. Логинов Ю.Н. Л69 Медь и деформируемые медные сплавы: учебное пособие/ Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004, 136 с.

УДК 691.328/ 691.542

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ВЫСОЛООБРАЗОВАНИЕ ХРИЗОТИЛЦЕМЕНТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

П.А. Куценко, аспирант

А.В. Абзалилова, канд. техн. наук, доцент

Л.Ю. Пириева, ст. преподаватель

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Аннотация. Рассмотрены причины и механизмы высолообразования на хризотил-цементных изделиях. Определены ключевые факторы, способствующие возникновению солевых налётов. Предложены теоретические подходы минимизации данного явления. Представленные подходы могут способствовать улучшению эстетических и эксплуатационных характеристик хризотил-цементных материалов.

Ключевые слова: хризотил-цемент, высолообразование, гидрофобизация, защитные покрытия, микроцемент, УФ-отверждаемые лаки, миграция солей, пористость, декоративные покрытия.

На сегодняшний день невозможно представить строительную отрасль без портландцемента и изделий на его основе. Однако, любой материал имеющий в составе этот вид вяжущего подвержен высолообразованию — миграции солей (в основном гидроксида кальция) в процессе многочисленных циклов проникновения влаги в пористый материал и ее испарения, в результате чего на поверхности изделия образуется белесый налет. Это ведет за собой нарушение эстетических и эксплуатационных характеристик, уменьшая срок службы изделия.

Хризотил-цементные изделия представляют собой композиционные материалы (плоский и волнистый шифер, трубы и др.), состоящие преимущественно из цемента, около 80...85%, и лишь на 15...20% из хризотил-асбестовых волокон в качестве армирующего компонента. Важно отметить, что физико-химическое взаимодействие между поверхностью волокон и частицами цемента в щелочной среде способствует прочному сцеплению компонентов, что обуславливает высокую стабильность структуры материала в процессе твердения. Благодаря относительной дешевизне, термо- и огнестойкости, долговечности, высокой прочности на изгиб и прочим характеристикам, данный вид КМ часто используется в качестве кровельных и отделочных материалов. При этом современная строительная практика, особенно в странах СНГ и Азии, демонстрирует стабильный спрос на хризотил-цементные изделия как универсальный и экономически эффективный материал для малоэтажного и инфраструктурного строительства. Из-за своей востребованности на рынке вопрос о борьбе с высолообразованием остаётся актуальным [1, 2].

К числу ключевых факторов, определяющих интенсивность образования высолов на хризотил-цементных изделиях, в первую очередь относятся повышенная влажность окружающей среды, внутренняя капиллярная пористость материала, высокая щёлочность цементного камня и наличие микротрещин, способствующих транспортировке влаги. Однако, главную роль играет гидроксид кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$, формирующийся в процессе гидратации цемента и способный мигрировать по системе пор на поверхность (рис. 1). Чтобы эта миграция произошла, необходима не только жидкая фаза, но и разность концентраций между поверхностью и внутренним объёмом. Капилляры, по сути, становятся «транспортной сетью» для выноса растворимых солей. Их наличие связано, как с исходным водоцементным отношением, так и с технологическими параметрами формования, например, неполным вибропрессованием или неравномерной укладкой. Проблему усугубляют климатические условия хранения: если изделия хранятся во влажной среде или соприкасаются друг с другом, в этих зонах высолы появляются быстрее всего — вода в щелях испаряется медленно, и солям некуда деваться, кроме как выйти наружу. Стоит учитывать и влияние самого цемента, ведь чем выше в нём содержание трёхкальцевого силиката (алита), тем выше уровень свободного $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Таким образом, даже если снаружи всё выглядит аккуратно, внутренняя структура материала может медленно, но уверенно разрушаться и белёсый налёт — лишь первая видимая стадия этого процесса [3-8].



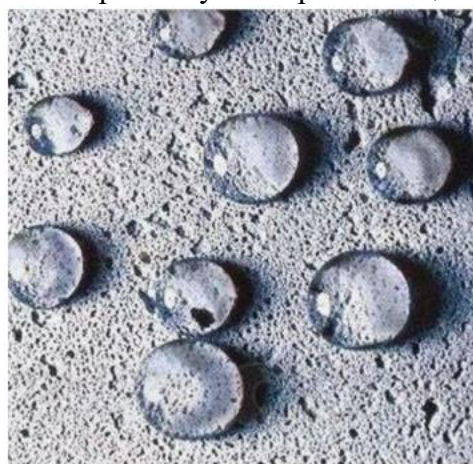
бетонная стена



плоский шифер

Рисунок 1 — Высолы на цементосодержащих изделиях

Для минимизации высолообразования одним из наиболее эффективных и при этом технологически доступных методов считается создание водоотталкивающей поверхности посредством нанесения гидрофобизирующих составов. Такие покрытия формируют на поверхности хризотил-цементных изделий тонкий защитный слой, препятствующий проникновению влаги внутрь материала (рис. 2), а значит разрывающим логику миграции растворимых солей. При этом важно, что современные гидрофобизаторы сохраняют паропроницаемость конструкции, позволяя материалу «дышать» и не нарушая микроклимат в замкнутых объёмах. Препараты на основе силоксанов и силиконов образуют устойчивую мономолекулярную плёнку в верхнем слое пор, которая не смывается осадками и не разрушается под действием УФ-излучения. Кроме основной защитной функции, некоторые составы («Типром К») также обладают антисептическим эффектом, препятствуя развитию грибка и плесени на поверхности. Важно отметить, что своевременная обработка гидрофобизатором не только предотвращает появление высолов, но и повышает морозостойкость изделия за счёт снижения водонасыщения, критически важного параметра для изделий, эксплуатируемых в циклически переменчивых климатических условиях. Таким образом, грамотная гидрофобизация, это не просто барьер от воды, а комплексная мера продления срока службы хризотил-цементных изделий и сохранения их внешнего вида [4].



гидрофобный бетонный блок



гидрофобный плоский шифер

Рисунок 2 — Гидрофобные покрытия

Перспективным направлением в борьбе с высолообразованием остаётся применение микроцементных составов, предназначенных для уплотнения поверхностного слоя материала. Подобные составы позволяют частично перекрыть открытые капилляры, снизив общую пористость и как следствие, капиллярное всасывание влаги. Однако сам по себе этот метод может уступать по эффективности другим, более технологически продвинутым подходам, поскольку не исключает полностью возможность миграции растворимых солей [8].

Защитно-декоративные покрытия на основе акриловых или силиконовых красок также находят широкое применение в защите хризотил-цементных изделий от влаги и последующего высолообразования. Такие составы образуют механический барьер, препятствующий проникновению воды, одновременно сохраняя эстетические свойства материала. Однако важно учитывать, что для надёжной адгезии покрытия требуется предварительное грунтование поверхности, что позволяет улучшить сцепление и устойчивость к внешним факторам [8].

Кроме того, заслуживает внимания технология применения УФ-отверждаемых лаков, способных формировать на поверхности хризотил-цементных изделий прочную и плотную защитную плёнку, эффективно препятствующую проникновению влаги. За счёт фотополимеризации олиго- и мономерных компонентов под действием ультрафиолетового излучения удаётся добиться быстрого отверждения в реальном времени, что позволяет избежать дополнительной сушки и может ускорить производственный цикл. Подобные

покрытия демонстрируют высокую степень адгезии и механической прочности, а также устойчивость к атмосферным воздействиям, включая переменные циклы увлажнения и высушивания, критичные для высолообразования. Твёрдость сформированного слоя может быть сопоставима со стеклом, а паропроницаемость отрегулирована составом активных мономеров. Помимо этого, возможно введение антикоррозионных или пигментных добавок на стадии рецептуры, что расширяет функциональность таких покрытий. Всё это делает УФ-отверждаемые лаки перспективными не только с точки зрения эстетической и физико-химической защиты, но и как инструмент продления срока службы изделий за счёт снижения интенсивности миграции растворимых солей на поверхность [9].

Наибольшую эффективность может дать комбинирование различных методов. Например, использование гидрофобной пропитки с последующим нанесением защитно-декоративного покрытия способно обеспечить комплексную защиту от миграции солей. Однако данный подход требует дальнейших исследований и оптимизации для достижения экономически и технологически обоснованного решения.

Полностью исключить проблему высолообразования на хризотил-цементных изделиях, скорее всего, невозможно из-за специфики материала, однако современные технологии и защитные методы могут существенно снизить её влияние, продлив срок службы хризотил-цементных изделий и улучшив их эстетические характеристики.

Работа выполнена в рамках реализации государственного задания Минобрнауки РФ № FZWN-2023-0006.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пуненков С. Е. Получение фиброцементных изделий с использованием хризотила — хризотилцементная промышленность // *Theoretical Engineering*. — 2024.
2. Пуненков С. Е., Козлов Ю. С., Пуненков Н. С. Современное состояние хризотил-асбестовой промышленности // *Горный журнал*. — 2023.
3. Сулейманова Л. А., Малюкова М. В. Высолы (выцветы) на поверхности бетонных изделий // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова*. — 2012.
4. Анощенко Н. П., Анощенко Е. А., Шарина С. В. Причины возникновения высолов на стенах и методы их устранения // *Проблемы и перспективы развития инженерно-строительной науки и образования*. — 2020.
5. Бабков В. В., Гафурова Э. А., Резвов О. А., Мохов А. В. Проблемы высолообразования наружных стен зданий на основе вибропрессованных бетонных блоков и способы защиты стен от высолов // *Инженерно-строительный журнал*. — 2012.
6. Хохряков О. В., Гуляков Е. Г., Хозин В. Г., Беяков А. Ю. Проблемы высолообразования в бетонных вибропрессованных тротуарных плитах // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. — 2023.
7. Харитонов А. А. Образование высолов на бетоне // *Молодой исследователь Дона*. — 2022.
8. Лунёв Р. С., Боцман Л. Н., Лунёва Е. В. Современные способы борьбы с высолами на вибропрессованных изделиях // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова*. — 2016.
9. Ильина В. В., Бабкина Л. А., Строкова В. В. Фотореактивные лаки для создания защитных покрытий при реставрационно-консервационных работах // *Известия вузов. Строительство*. — 2024.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ В РАБОТЕ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

А.Н. Луняка, доцент кафедры

Д.В. Вилисов, преподаватель кафедры

И.А. Фомченко, курсант

К.И. Дубляженко, курсант

*Новосибирский военный ордена Жукова институт имени генерала армии И.К. Яковлева
войск национальной гвардии Российской Федерации*

Аннотация. В статье описываются современные газотурбинные двигатели (ГТД) которые представляют собой сложные инженерные системы, функционирующие в условиях экстремальных температур (до 1500 °С) и механических нагрузок (скорость вращения роторов достигает 125 000 об/мин). Описываются экспериментальные данные и методы использующиеся для нанесения покрытия.

Ключевые слова: газотурбинный двигатель, теплопроводность, адаптивные покрытия, микротрещины.

Современные газотурбинные двигатели (ГТД) представляют собой сложные инженерные системы, функционирующие в условиях экстремальных температур (до 1500 °С) и механических нагрузок (скорость вращения роторов достигает 125 000 об/мин). Дegradация материалов в таких условиях обусловлена комплексом факторов, включая термическое окисление, абразивный износ и усталостные повреждения. Например, увеличение зазора в лабиринтных уплотнениях на 0,1 мм приводит к росту удельного расхода топлива на 3%, что подчеркивает критическую зависимость КПД ГТД от состояния поверхностей взаимодействующих компонентов [1].

Наиболее уязвимыми элементами ГТД являются:

1. Лабиринтные уплотнения — предотвращают утечки рабочего тела, но подвержены абразивному износу при контакте с титановыми роторами.

2. Газодинамические подшипники — обеспечивают бессмазочное вращение валов, однако в переходных режимах (пуск/останов) возникают явления граничного трения, приводящие к микрозадирам на цапфах.

3. Опорные узлы поворотных лопаток — испытывают циклические нагрузки до 40 кН, сопоставимые с массой грузового автомобиля.

Экспериментальные данные демонстрируют, что утечка 1% охлаждающего воздуха в турбинной секции повышает температуру газа на входе в ротор на 10°С, что интенсифицирует термическую ползучесть материалов.

Добавление 15% оксидов иттрия (Y_2O_3) или гадолиния (Gd_2O_3) в керамические матрицы обеспечивает:

- Снижение теплопроводности на 25...30%;
- Повышение сопротивления окислению в 2,3 раза при 600°С;
- Увеличение ресурса подшипников до 15 000 часов.

Однако 90% мирового производства редкоземельных металлов контролируется КНР (данные USGS, 2023), что создает стратегические риски для стран-импортеров. В РФ разработка альтернативных составов (например, на основе ниобия и тантала) находится на стадии экспериментальных исследований.

Рассмотрим методы использующиеся для нанесения покрытия. Детонационное напыление использует энергию управляемого взрыва для ускорения частиц. Смесь горючего газа (например, ацетилена или водорода) и кислорода воспламеняется в камере, создавая детонационную волну. Частицы карбида вольфрама (или других материалов, например,

оксида алюминия) помещаются в зону взрыва и разгоняются до сверхзвуковых скоростей (около 800...1200 м/с — как пуля из пистолета). Магнетронное распыление использует метод основан на создании плазмы в вакуумной камере. Мишень из нужного материала (например, титана, нитрида бора) бомбардируется ионами инертного газа (аргона). Атомы мишени «выбиваются» и осаждаются на подложку, формируя тонкий слой. К его особенностям можно отнести низкую температуру процесса и равномерное покрытие даже сложных форм (отверстия, канавки) [2].

Принцип работы лазерного осаждения заключается в фокусировании мощного лазера на подложке, создавая микропятно с температурой до 10 000 °С. Керамический порошок (например, оксид циркония) подается в зону воздействия, где мгновенно плавится и застывает, образуя сверхгладкий нанослой. Ключевыми особенностями данного способа являются селективность т. е. лазер можно точно направлять, покрывая только нужные участки и контроль структуры это позволяет создавать аморфные или кристаллические слои.

Детонационное напыление подходит для грубых условий эксплуатации, магнетронное — для высокоточной техники, а лазерное — для экстремальных температур и «ювелирной» обработки. Совмещение этих технологий позволяет создавать гибридные покрытия, например, основу из карбида вольфрама с антикоррозийным слоем нитрида титана.

В ВИАМ (Всероссийский институт авиационных материалов) уже испытывают эрозионностойкие покрытия для лопаток, которые выдерживают песчаные бури и ледяную крошку. Например, нанослойные структуры с добавлением тантала увеличивают ресурс компрессоров в 2 раза [3].

Каждый лишний грамм топлива из-за износа уплотнений — это тонны CO₂ в атмосфере. А отказ подшипника в авиадвигателе может стоить сотен жизней. Современные покрытия — не просто технология, а вопрос безопасности и экологии. Пока в России лишь 10% ГТД используют такие решения, тогда как General Electric и MTU Aeroengines внедряют их массово.

В ближайшие 5...7 лет технологии защитных покрытий совершат революционный скачок, превратив «невидимую броню» в интеллектуальные системы, способные адаптироваться, восстанавливаться и предупреждать о рисках. Уже сейчас ученые работают над материалами, которые кардинально изменят подход к защите поверхностей — от бытовой электроники до космических кораблей.

Одним из ключевых направлений станут адаптивные покрытия, имитирующие природные механизмы выживания. Например, при локальном нагреве от трения или удара такие материалы смогут мгновенно менять свою структуру, подобно коже хамелеона. В обычных условиях они сохраняют гибкость, но при угрозе деформации их микроскопические керамические решетки уплотняются, увеличивая твердость в разы. Это позволит создавать бронежилеты, которые «затвердевают» только в момент попадания пули, или лопасти вертолетов, автоматически разрушающие лед при обледенении. В основе таких технологий — комбинация детонационного напыления с «умными» сплавами, такими как никелид титана, и жидкими кристаллами, чья теплопроводность программируется на молекулярном уровне.

Не менее перспективны самовосстанавливающиеся покрытия, вдохновленные биологическими процессами. Микротрещины в них будут «заживать» за секунды благодаря встроенным нанокапсулам с жидким металлом или мономерами, которые активируются при повреждении. Например, экран смартфона сможет самостоятельно устранять царапины при контакте с воздухом, а трубопроводы — «латать» коррозию без остановки работы. Для глубоких повреждений, как в авиационных двигателях, разрабатываются полимеры с обратимыми химическими связями, восстанавливающимися под воздействием ультрафиолета или тепла. Такие технологии станут возможны благодаря гибридным подходам: магнетронное распыление будет объединять керамику с биополимерами, а лазерное осаждение — внедрять самоорганизующиеся наночастицы в структуру материала.

Однако настоящим прорывом станет интеграция покрытий с искусственным

интеллектом. Миниатюрные датчики, встроенные в защитные слои, превратят их в «умные» системы мониторинга. Пьезоэлектрические нановолокна смогут генерировать ток при деформации, а квантовые точки — менять свечение в зависимости от износа. ИИ, анализируя эти сигналы, будет предсказывать поломки за десятки часов до критического момента. Например, авиационные турбины смогут отправлять данные о состоянии лопаток прямо во время полета, а медицинские имплантаты — предупреждать о риске отторжения, отслеживая изменения в pH тканей. Это потребует симбиоза технологий: лазеры будут не только наносить покрытия, но и «печатать» сенсоры непосредственно в их структуре, а цифровые двойники позволят тестировать виртуальные прототипы в экстремальных условиях [4].

Развитие «умных» покрытий — это не просто технологическая гонка, а вопрос стратегической безопасности и конкурентоспособности. Россия, обладая серьезным заделом в материаловедении (вспомним титановые сплавы ВИАМ для авиации или сверхтвердые покрытия для Арктики), сегодня стоит на перепутье. Без масштабных инвестиций в науку и открытого диалога с мировым исследовательским сообществом даже эти достижения рискуют превратиться в архаику. Санкции, безусловно, создают барьеры — например, ограничения на поставки высокочистого карбида вольфрама или оборудования для магнетронного напыления. Однако история знает примеры, когда изоляция стимулировала прорывы: советские композитные материалы для «Бурана» или ядерные технологии. Но сегодня, в эпоху конвергенции наук, изолированная разработка обречена на провал [5].

Современные адаптивные покрытия — это симбиоз дисциплин, который невозможно замкнуть в одной стране. Для создания самовосстанавливающихся слоев требуются не только глубокие знания в физике и химии, но и интеграция цифровых технологий, таких как искусственный интеллект. У России сильна школа физики плазмы, критичная для лазерного осаждения, но отстает производство прецизионного оборудования. Китай, несмотря на политические разногласия, продолжает закупать у европейских компаний установки для магнетронного напыления, параллельно развивая собственные аналоги. Без доступа к современным компонентам — вакуумным камерам, лазерным системам, сенсорам — даже гениальные наработки ВИАМ или МИСиС рискуют остаться в лабораториях.

Последствия промедления катастрофичны. В авиации композитные лопатки с адаптивными покрытиями сократят расход топлива на 15%, и без них российские двигатели потеряют конкурентоспособность даже на внутреннем рынке. В медицине имплантаты с саморегенерирующими слоями к 2030 году захватят 70% рынка, оставив отечественные аналоги в нише, как это произошло с томографами. В энергетике солнечные панели с ИИ-оптимизированными покрытиями увеличат КПД до 30%, а Россия, фокусируясь на углеводородах, упустит переход к возобновляемым источникам.

Санкции не должны быть оправданием. В 1960-е СССР создал радиационно-стойкие покрытия для космоса в условиях железного занавеса. Сегодня нужна аналогичная мобилизация, но с акцентом на «открытую» науку: направлять не менее 3% ВВП на НИОКР, восстанавливать программы обмена учеными через нейтральные страны, связывать госкорпорации с вузами. Если сегодня не дирижировать этой «симфонией», завтра придется играть по чужим нотам — закупать китайские аналоги втридорога или мириться с тем, что срок службы труб «Северного потока» будет вдвое меньше, чем у конкурентов. Альтернатива — стать центром разработки материалов следующего поколения, где физики, химики и data-ученые создают стандарты завтрашнего дня. Как показал опыт со Sputnik V, даже в условиях давления возможен рывок — но только через объединение науки, промышленности и воли к победе [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. А. Иноземцев, С. В. Бажин, М. А. Снитко. Вопросы оптимизации радиальных зазоров ТВД авиационного ГТД // Вестник двигателестроения. — 2012. — № 2.
2. А. Боцула. Экономичный способ повышения эффективности газотранспортной системы // Территория Нефтегаз. — 2006. ~ №6.
3. Кирюханцев-Корнеев Ф. В. Перспективные наноструктурные покрытия для машиностроения / Ф. В. Кирюханцев-Корнеев, А. Н. Шевейко, Е. А. Левашов, Д. В. Штанский // Журнал «Вопросы материаловедения», №2 (54), 2008, с. 187–201.
4. Мубояджян С. А. Эрозионностойкие покрытия из нитридов и карбидов металлов и их плазмохимический синтез // Журнал «Российский химический журнал», №1, 2010, 19 с.
5. Ефанов В. С. Эрозионная стойкость лопаток компрессора вертолётных ГТД с различными типами покрытий / В. С. Ефанов, А. Н. Прокопенко, А. В. Овчинников, Ю. Н. Внуков // Журнал «Вестник двигателестроения», №1, 2017, с. 120–123.
6. Иванов Е. Г. Применение покрытий из водной суспензии для защиты деталей ГТД от коррозии / Е. Г. Иванов, В. М. Самойленко, Р. Г. Равилов, М. А. Петрова // Научный вестник МГТУ ГА, 2015, №217, с. 46–50.

УДК 620.179.142.6

СПОСОБ КАССЕТНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ АНШЛИФОВ ПОКРЫТИЙ

Д.С. Подгорный, аспирант,

Д.С. Прохоренков, аспирант,

Д.О. Бондаренко, канд. техн. наук, доцент

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Аннотация. Рассмотрены методы измерения толщин покрытий. Предложена оснастка и методика для подготовки пакета образцов к оптической микроскопии поперечных аншлифов, что позволит проводить исследование слоёв серий образцов покрытий с применением автоматизированных микроскопических систем.

Ключевые слова: покрытия, аншлиф, оснастка, методика подготовки образцов, эпоксидная смола

Строительная отрасль сталкивается с необходимостью обеспечения надежности и долговечности материалов. Для решения данных задач активно развиваются технологии создания защитных покрытий [1]. Существует огромное разнообразие покрытий, обладающих специальными и уникальными свойствами: металлические, керамические, стеклянные, полимерные, нанокompозитные и др. [2–6].

В настоящее время имеется множество методов измерения толщин покрытий, выбор которых зависит от материала подложки и самого покрытия, а также его толщины.

При измерении тонких плёнок (от долей нм до единиц мкм) чаще всего используют эллипсометрию и рентгенофлуоресцентный анализ. Для толстых покрытий (от десятков мкм до мм) применяют магнитоиндукционный и вихретоковый методы, ультразвуковой метод (обычно от 10...20 мкм), профилометрию (с созданием ступеньки) [7].

В наиболее распространенном диапазоне толщин (примерно от 0,1...0,5 до 50...100 мкм) применимо множество методов. Рентгенофлуоресцентный анализ остается эффективным до 100 мкм, особенно для многослойных покрытий с разными элементами [8]. Кулонометрический метод обеспечивает высокую точность для гальванических покрытий в диапазоне от 0,1 до 50 мкм, но повреждает само покрытие. Исследование толщины по сферическому шлифу хорошо подходит для твёрдых покрытий толщиной от 0,5 до 50 мкм, но

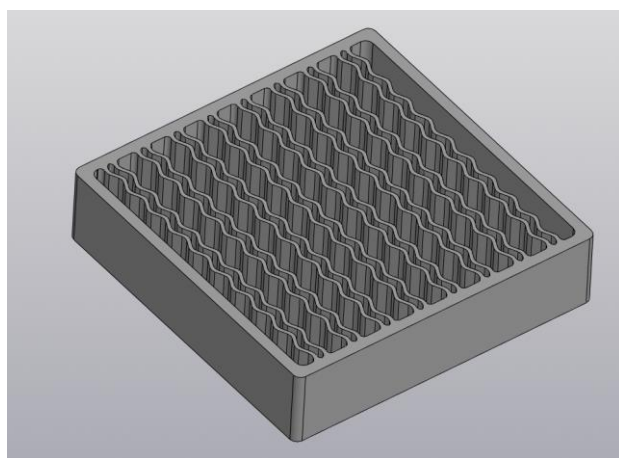
также является разрушающим. Метод бета-обратного рассеяния используется в микрометровом диапазоне, но требует значительной разницы в атомных номерах между покрытием и подложкой. Для магнитных материалов могут применяться магнитоиндукционный и вихретоковый методы [7].

Несмотря на такое изобилие методов, до сих пор наиболее актуальным остаётся микроскопия шлифов и аншлифов покрытий, так как имеет широкий диапазон применения (толщины от 100 нм до 5 мм, любые типы материала подложки и покрытия). Это даёт возможность не только оценить толщину, но и прочие характеристики: адгезию к подложке, наличие дефектов, пористость, шероховатость, фазовое распределение (в случае применения электронной микроскопии и энергодисперсионной спектроскопии).

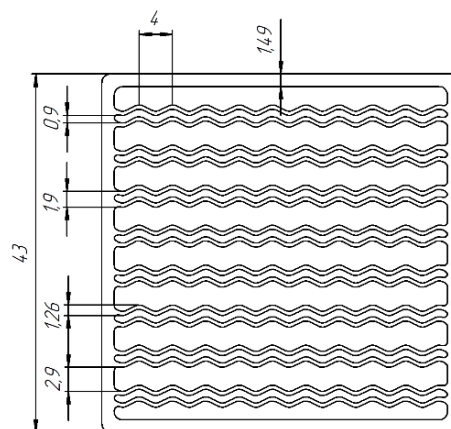
Преимущественно одним из распространённых способов получения аншлифов является формование покрытий при помощи двухкомпонентных эпоксидных смол, погружая образцы вертикально торцевой стороной. После отверждения смолы образцы подвергаются механической обработке: резке, шлифовке, полировке. Как правило, полировку производят до величины оптической гладкости (т.е. до величины шероховатости, меньшей, чем длина волны света или < 750 нм) [7].

В процессе пробоподготовки образца для последующей обработки могут возникать сложности с вертикальным расположением образца, а также одновременным формованием серии образцов.

Исходя из данной задачи, предлагается следующее решение. При помощи FDM-принтера печатать специальную оснастку, в которой будет зажиматься пакет образцов толщиной 0,1...3 мм. Вариант данной оснастки представляет собой периодическую волнистую структуру, где попарно расположены стенки с зазором (рис. 1). Расстояние между каждой парой стенок равно максимальной толщине исследуемого образца.



а



б

Рисунок 1 — Оснастка для пакетной подготовки образцов покрытий к механической обработке:
а — общий вид; б — чертёж с предлагаемыми размерами

На рисунке 2 представлены фотографии напечатанной оснастки при помощи FDM-принтера, а также образцы покрытия Ti-TiO_x, полученные на бетоне методом детонационного напыления после испытания на адгезию. Диаметр образцов 25,4 мм, толщина 0,5...3 мм.



а

б

Рисунок 2 — Напечатанная оснастка при помощи FDM-принтера для пакетной подготовки образцов покрытий к механической обработке: а — напечатанный экземпляр; б — экземпляр с установленными образцами покрытия

Образцы покрытий, закреплённые в оснастке, устанавливаются вертикально и заливаются двухкомпонентной эпоксидной смолой (рис. 3). Следующим этапом после отверждения эпоксидной смолы будет шлифовка и полировка исследуемой поверхности.



Рисунок 3 — Образцы покрытий Ti–TiO_x на бетоне после фиксации в оснастке и заливки эпоксидной смолой

Полученный пакет образцов после отверждения в полимерной матрице может быть обработан в следующем порядке:

1. Отрезка лишней части эпоксидной смолы и покрытия, не содержащей полезной информации для микроскопии;
2. Грубая шлифовка и визуальная оценка;
3. Если все образцы покрытия отшлифованы до нужной степени, можно производить полировку;
4. Микроскопия образцов.

Важно отметить, что применяемая эпоксидная смола должна быть достаточно твёрдой, так как мягкие смолы тяжело поддаются полировке.

Таким образом, предложена оснастка и методика для подготовки пакета образцов к оптической микроскопии поперечных шлифов. Данный метод формования позволяет проводить исследование слоёв серий образцов покрытий с применением автоматизированных микроскопических систем.

Работа выполнена в рамках реализации государственного задания Минобрнауки РФ № FZWN-2023-0006.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко, Д.О. Термические и газодинамические методы нанесения функциональных покрытий. Перспективы детонационного напыления / Д.О. Бондаренко, Д.С. Подгорный, В.В. Строкова // Строительные материалы. — 2024. — № 5. — С. 48–69. DOI: 10.31659/0585-430X-2024-824-5-48-69.
2. Нарцев, В.М. К вопросу определения характеристик тонких покрытий на основе диоксида титана / В.М. Нарцев, Е.А. Дороганов, С.В. Зайцев, Н.В. Осипенко, Е.И. Евтушенко // Огнеупоры и техническая керамика. — 2011. — № 9. — С. 31–36.
3. Zaitsev, S.V. Influence of annealing temperature on the microstructure and morphology of tin films synthesized by dual magnetron sputtering / S.V. Zaitsev, V.S. Vashchilin, D.S. Prokhorenkov, M.V. Limarenko, E.I. Evtushenko // Technical Physics. — 2018. — Vol. 63. — P. 1189–1193. DOI: 10.1134/S1063784218080236.
4. Мамаев, В.В. Получение слоев GaN и AlGaN с пониженной плотностью дислокаций методом молекулярно-лучевой эпитаксии с использованием аммиака / В.В. Мамаев, С.А. Новиков, С.И. Петров, С.В. Зайцев, Д.С. Прохоренков // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. — 2016. — № 2. — С. 176–180.
5. Бондаренко, Н.И. Влияние плазмохимического модифицирования на микроструктуру стекловидного защитно-декоративного покрытия на бетоне / Н.И. Бондаренко, Д.О. Бондаренко // Вестник технологического университета. — 2022. — Т. 25. — № 1. — С. 49–51.
6. Ильина, В.В. Фотореактивные лаки для создания защитных покрытий при реставрационно-консервационных работах / В.В. Ильина, Л.А. Бабкина, В.В. Строкова // Известия высших учебных заведений. Строительство. — 2024. — № 4 (784). — С. 83–91. DOI: 10.32683/0536-1052-2024-784-4-83-91.
7. Giurlani, W. Measuring the thickness of metal coatings: A review of the methods / W. Giurlani, E. Berretti, M. Innocenti, A. Lavacchi // Coatings. — 2020. — Vol. 10. — Issue 12. — Article number 1211. DOI: 10.3390/coatings10121211.
8. Brocchieri, J. Estimation of Ag coating thickness by different methods using a handheld XRF instrument / J. Brocchieri, E. Scialla, C. Sabbarese // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. — 2021. — Vol. 486. — P. 73–84. DOI: 10.1016/j.nimb.2020.11.006.

УДК 658.567.1

ПЕРЕРАБОТКА И УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПОКРЫТИЙ

И.С. Попова, канд. биол. наук, доцент

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Красноярский государственный аграрный университет

Аннотация. Отходы лакокрасочной промышленности, содержащие токсичные органические соединения (алкидные смолы, ароматические растворители) и тяжелые металлы, представляют серьезную экологическую проблему. В работе рассмотрены основные пути переработки и утилизации подобных отходов. Показаны возможности применения бактерии *Pseudomonas putida* — одного из наиболее эффективных микроорганизмов для биodeградации органических компонентов лакокрасочных материалов и покрытий.

Ключевые слова: отходы, лакокрасочные покрытия и материалы, окружающая среда, загрязнение, методы утилизации и переработки.

Переработка и утилизация отходов лакокрасочных материалов и покрытий — важная экологическая задача, так как эти отходы относятся к опасным (III–IV класс опасности) из-за содержания органических растворителей, тяжелых металлов и других вредных веществ.

Тяжелые металлы — одна из самых опасных составляющих лакокрасочных материалов. В состав красок, лаков и покрытий могут входить: свинец — ранее использовался в свинцовых белилах, сейчас ограничен, но встречается в старых покрытиях, кадмий — входит в состав некоторых пигментов (например, кадмий желтый, красный), хром — в антикоррозионных грунтовках (хроматы цинка, стронция), ртуть — в некоторых антисептических добавках (редко), цинк — в цинкосодержащих красках (менее токсичен, но требует контроля). Данные металлы попадают в отходы при: счистке старых покрытий (например, при ремонте зданий, судов), остатках неиспользованных лакокрасочных материалов и покрытий, шлаках от очистки оборудования. Опасность тяжелых металлов заключается в их токсичности, канцерогенности, способности к биоаккумуляции, плохо разлагаются, мигрируют в грунтовые воды [1].

Вопрос переработки и утилизации отходов лакокрасочных материалов остаётся актуальной и пока недостаточно исследованной проблемой, несмотря на значительный объём накопленных научных работ и практических рекомендаций. Основной причиной недостаточной проработанности вопроса является сложность самих отходов, состоящих из множества разнородных компонентов, каждый из которых обладает своими особенностями поведения при обработке и переработке [2, 3].

Основные методы переработки и утилизации отходов лакокрасочных материалов и покрытий:

1. Физико-химические методы (регенерация растворителей, коагуляция и флокуляция, сорбционная очистка).
2. Термические методы (сжигание в печах (в т. ч. цементных) при высоких температурах с очисткой дымовых газов, пиролиз — разложение при недостатке кислорода с получением горючих газов и остаточного углерода).
3. Механические методы (обезвоживание и прессование, измельчение и разделение).
4. Биологические методы [4].

Биологические методы используют живые организмы (микроорганизмы, растения, грибы) для разложения, детоксикации или извлечения вредных компонентов из отходов лакокрасочных материалов и покрытий. Эти подходы особенно перспективны для органических составляющих красок, но требуют особых условий для работы с тяжелыми металлами.

Микробная биodeградация. Принцип работы заключается в том, что микроорганизмы (бактерии, грибы) выделяют ферменты, способные расщеплять:

Алкидные смолы → жирные кислоты + глицерин (например, бактерия *Pseudomonas putida*, грамотрицательная, непатогенная бактерия, широко применяемая в биоремедиации благодаря своей метаболической универсальности и способности разлагать сложные органические соединения).

Акрилаты → простые органические кислоты (гриб *Aspergillus niger*).

Полиуретаны → амины + CO₂ (гриб *Phanerochaete chrysosporium*).

Существуют технологии применения, так в биореакторы для жидких отходов помещают отходы лакокрасочных материалов и покрытий, смешивают с активным илом или иммобилизованными микроорганизмами. Оптимальные условия: pH 6,5...7,5, температура 25...30 °C, аэрация 5...7 мг O₂/л (для полного окисления).

Отходы лакокрасочных материалов и покрытий (например, промывочные воды) подают в реактор с иммобилизованной *P. putida*. Бактерии разлагают органические соединения за 24...72 часа. *P. Putida* метаболизирует алкидные смолы до глицерина и жирных кислот, а ароматические соединения (толуол, ксилол) — до нетоксичных продуктов (CO₂ и H₂O) благодаря специализированным плазмидам (TOL, NAH).

Очищенную воду фильтруют через угольный фильтр. На заводе BASF (Германия) такие системы снижают содержание толуола в стоках на 99 %.

При биокомпостировании твердых отходов отходы лакокрасочных материалов и покрытий смешивают с органическими субстратами (опилки, торф: соотношение 1:3) для ускорения разложения, вносят штамм *P. Putida* MTCC 1194, в результате за 4...6 недель разлагается 70...80 % органики [5].

Комплексные методы объединяют разные этапы переработки и утилизации, обеспечивая максимальную экономическую выгоду и минимальные экологические риски. Так, перспективе *P. Putida* возможно использовать в синтетических микробных консорциумах и гибридных системах (ультразвук + биodeградация) для комплексной отходов переработки лакокрасочных материалов и покрытий [6, 7, 8].

Наиболее эффективны комбинированные методы (физико-химическая обработка + сжигание). Перспективно развитие технологий рециклинга и использования отходов переработки лакокрасочных материалов и покрытий в производстве строительных материалов.

Известно, что до настоящего времени вопрос переработки отходов лакокрасочных материалов и покрытий еще недостаточно изучен и имеющиеся материалы в отечественной и зарубежной литературе не дают достаточной информации по их применению

Перечисленные методы переработки и утилизации отходов переработки лакокрасочных материалов и покрытий обеспечивают возможность безопасного и эффективного избавления от опасных отходов, одновременно позволяя минимизировать затраты и максимизировать выгоды от повторного использования некоторых компонентов. Выбор конкретного метода зависит от состава отходов, требований нормативных документов и экономических соображений предприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Features of the development stability of tree plantations of large city industrial zones / I. S. Korotchenko, G. G. Pervyshina, O. V. Romanova [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Krasnoyarsk, 20–22 июня 2019 года / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Vol. 315. — Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2019. — P. 22012. — DOI 10.1088/1755-1315/315/2/022012.
2. Батова, К. Э. Перспективы переработки и дальнейшего использования отходов лакокрасочных материалов / К. Э. Батова, А. Е. Краснослободцева, В. В. Заболотских // Международный научный институт "Educatio". — 2014. — № 4-3. — с. 113-116.
3. Проблема использования отходов лакокрасочных материалов и их утилизация / А. Л. Барханаджян, Р. М. Хакимов Б. Д., Ибрагимов [и др.] // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2020. — Т. 331. — №. 9. — с. 179-185.
4. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям: Утилизация и обезвреживание отходов (кроме обезвреживания термическим способом (сжигание отходов)) / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. — М. : Бюро НДТ, 2016. — 208 с.
5. Singh N., Chandrajit B. Biodegradation of phenol and cyanide by *Pseudomonas putida* MTCC 1194: an experimental and modeling study // Desalination and Water Treatment. 2016. — V. 57. — pp. 28426-28435.
6. Karak T., Bhagat R.M., Bhattacharyya P. Municipal solid waste generation, composition, and management: the world scenario // Critical Reviews in Environmental Science and Technology. — 2012. — V. 42. — № 15. — P. 1509–1630. URL: <https://doi.org/10.1080/10643389.2011.56987>
7. Eugenio F.D., Pajarito B.B. Potential anti-corrosion additives derived from waste plastic sachets // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — 2019. — V. 634. — № 1.

— P. 1–6. URL: https://www.researchgate.net/publication/336531640_Potential_anti-corrosion_additives_derived_from_waste_plastic_sachets

8. Mohamed M.G., Ahmed N.M., Abd El-Gawad W.M. Corrosion protection performance of reinforced steel coated with paints based on waste materials // *Anti-Corrosion Methods and Materials*. — 2018. — V. 65. — № 4. — P. 368–374. 9. Dursun D., Sengul F. Waste minimization study in a solvent-based paint manufacturing plant // *Resources, conservation and recycling*. — 2006. — V. 47. — № 4. — P. 316–331

УДК 667.6

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕРИАЛОВ С РАЗЛИЧНЫМИ ДИСПЕРСНЫМИ СИСТЕМАМИ

Н.С. Простаков, магистрант

В. Н. Хрянин, кан. тех. наук, доцент

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования Новосибирский государственный аграрный университет*

Аннотация. В статье представлены результаты испытаний на адгезию, твердость и прочность при изгибе составов «полиуретановый грунт + полиуретановая эмаль», «полиуретановая грунт-эмаль» и «грунт-эмаль «3 в 1 Kolorit». Проанализированы результаты и выделен лакокрасочный материал, способный обеспечить долговременную защиту сельскохозяйственной техники от атмосферной коррозии.

Ключевые слова: лакокрасочные материалы, адгезия, твердость, прочность при изгибе, атмосферная коррозия.

Из практики известно [1], что наиболее распространенным видом коррозионного разрушения металлических поверхностей сельскохозяйственных машин является атмосферная коррозия.

В настоящее время одним из самых распространенных способов защиты сельскохозяйственной техники от коррозии остаются лакокрасочные покрытия. Это наиболее доступный и эффективный способ, который позволяет защищать сельскохозяйственную технику как в период хранения, так и в период эксплуатации. Используя лакокрасочные материалы с различными по составу дисперсными системами возможно значительно повысить эксплуатационные свойства покрытий, что скажется на их долговечности. [2]

Цель работы: повышение физико-механических свойств лакокрасочных покрытий сельскохозяйственной техники, путем использования материалов с улучшенными показателями эксплуатационной стойкости.

В исследовании испытывали составы «полиуретановый грунт + полиуретановая эмаль», «полиуретановая грунт-эмаль» и «грунт-эмаль «3 в 1 Kolorit». Применение выбранных лакокрасочных материалов было обосновано предыдущими исследованиями. Выявлены дисперсионные среды (пленкообразующие) и дисперсные фазы (пигменты, наполнители, ингибиторы и др.), положительно влияющие на эксплуатационную стойкость, и, в частности, коррозионную стойкость покрытий. [2, 3]

Физико-механические свойства (твердость, адгезия, прочность при изгибе и др.) оказывают значительное влияние на долговечность покрытия. Высокие показатели этих свойств могут обеспечить надежную защиту лакокрасочного покрытия от воздействия окружающей среды, механических повреждений, химических реагентов и прочих опасных факторов, негативно влияющих на целостность защитного покрытия. В исследовании

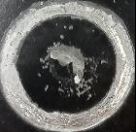
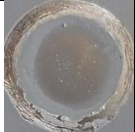
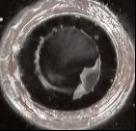
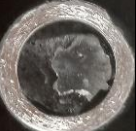
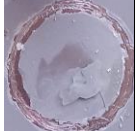
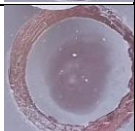
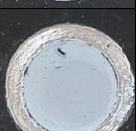
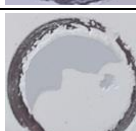
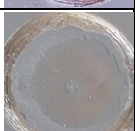
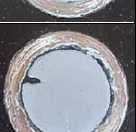
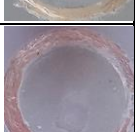
испытываемые составы сравнивались по 3 параметрам: адгезионная прочность методом отрыва (ГОСТ 32299-2013), твердость по карандашу (ГОСТ Р 54586-2011), прочность при изгибе вокруг цилиндрического стержня (ГОСТ 31974-2012).

Результаты испытаний на адгезионную прочность

Определение твердости окрашенных поверхностей проводилось по ГОСТ 32299-2013 «Материалы лакокрасочные. Определение адгезии методом отрыва (ISO 4624:2002, MOD)».

Адгезионная прочность лакокрасочных покрытий определялась с использованием автоматического адгезиметра PosiTest AT-A. Результаты измерений представлены в (табл. 1).

Таблица 1 — Показатели адгезии испытываемых составов

№ опыта	Тип разрушения	Прочность при отрыве, МПа	Фото	Тип разрушения	Прочность при отрыве, МПа	Фото	Тип разрушения	Прочность при отрыве, МПа	Фото
	Полиуретановый грунт + полиуретановая эмаль			Полиуретановая грунт-эмаль			Грунт-эмаль «3 в 1 Kolorit»		
1	30%A/B, 70% -/Y	1,83		45% B, 55% -/Y	0,54		A/B	2,65	
2	15%A/B, 50% n, 35% -/Y	2,06		50% B, 50% -/Y	0,65		30%A/B 70% -/Y	1,78	
3	40%A/B, 40% n, 20 % -/Y	2,15		50% B, 50% -/Y	0,83		30%A/B 70% -/Y	2,73	
4	40% B, 60% -/Y	2,03		30% B, 70% -/Y	1		80%A/B 20% -/Y	2,35	
5	B	2,41		50% B, 50% -/Y	0,56		A/B	2,37	
6	95% B, 5% -/Y	2,42		55% B, 45% -/Y	0,60		20%A/B 80% -/Y	2,10	

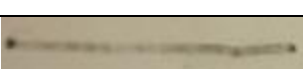
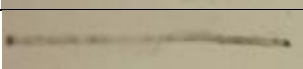
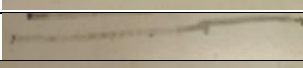
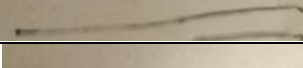
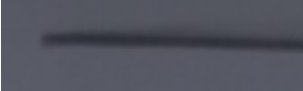
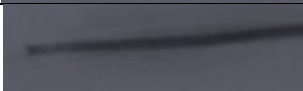
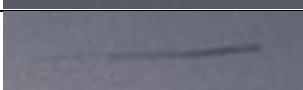
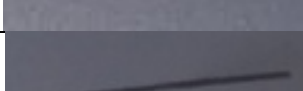
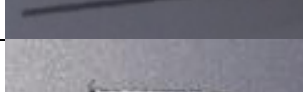
Как видно из таблицы, состав «полиуретановая грунт-эмаль» не отличается высокими показаниями адгезии. Характер излома говорит о том, что произошло когезионное разрушение первого слоя покрытия. Среднее значение адгезии за 6 испытаний равняется 0,70 МПа, что считается низким значением. Составы «Полиуретановый грунт + полиуретановая эмаль» и «грунт-эмаль «3 в 1 Kolorit» демонстрируют высокие значения адгезии (средние показатели прочности на отрыв равняются 2,15 и 2,33 МПа соответственно). При этом видно, что у состава, состоящего из полиуретанового грунта и эмали, происходит адгезионное разрушение как между окрашиваемой поверхностью и грунтом, так и когезионное разрушение эмали. У покрытия, состоящего из материала «грунт-эмаль «3 в 1 Kolorit» в основном происходит адгезионное разрушение между окрашиваемой поверхностью и 1 слоем покрытия, что может свидетельствовать о надлежащей защите от коррозии.

Результаты испытаний на твердость

Определение твердости окрашенных поверхностей проводилось по ГОСТ Р 54586-2011 (ИСО 15184:1998) «Материалы лакокрасочные. Метод определения твердости покрытия по карандашу».

Для контроля твердости лакокрасочных покрытий использовался метод царапания поверхности карандашами различной твердости от 8В до 9Н. Твердость покрытия характеризуется максимальным номером карандаша, не оставляющего на поверхности заметной царапины. Результаты измерений представлены в (табл. 2).

Таблица 2 — Твердость испытываемых составов

Номер опыта	Повреждение покрытия		Твердость карандаша	Фото	
Полиуретановый грунт + полиуретановая эмаль					
1	Снятие краски	Снятие краски	8В		
Полиуретановая грунт-эмаль					
1	Отсутствует	Отсутствует	8В		
2	Отсутствует	Отсутствует	6В		
3	Отсутствует	Отсутствует	4В		
4	Отсутствует	Отсутствует	3В		
5	Снятие краски	Снятие краски	2В		
Грунт-эмаль «3 в 1 Kolorit»					
1	Отсутствует	Отсутствует	8В		
2	Отсутствует	Отсутствует	6В		
3	Отсутствует	Отсутствует	3В		
4	Отсутствует	Отсутствует	2В		
5	Снятие краски	Снятие краски	В		

Как видно из выше представленных данных, состав «полиуретановый грунт + полиуретановая эмаль» отличается низкой твердостью, что говорит о плохой защите от механических воздействий. Состав «полиуретановая грунт-эмаль» показывает более высокие значения, но данный показатель твердости (3В) не сможет обеспечить долговременной защиты. По сравнению с остальными образцами, покрытие «грунт-эмаль «3 в 1 Kolorit» показывает несколько повышенные показатели твердости (2В). Таким образом можно сказать, что испытываемые составы «полиуретановый грунт + полиуретановая эмаль» и «полиуретановая грунт-эмаль» не обладают достаточной твердостью, чтобы предоставить надежную долговременную защиту сельскохозяйственной технике от атмосферной коррозии.

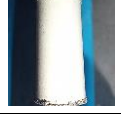
Результаты испытаний на прочность при изгибе.

Определение прочности покрытий при изгибе вокруг цилиндрических стержней проводилось по ГОСТ 31974-2012 «Материалы лакокрасочные. Метод определения прочности покрытия при изгибе вокруг цилиндрического стержня (ISO 1519:2011, MOD)».

При определении прочности покрытия при изгибе использовалось специализированное оборудование, в котором закреплялся испытуемый образец и изгибался вокруг стержня. Затем изогнутый образец осматривался на предмет растрескивания и/или отслаивания при использовании стержня определенного диаметра (схема «годен-негоден») или стержня самого маленького диаметра. Результаты измерений представлены в (табл. 3).

Таблица 3

Прочность на изгиб испытуемых составов

№ опыта	Диаметр стержня, мм	Повреждение покрытия		Годен/негоден	Фото		
					Полиуретановый грунт +полиуретановая эмаль	Полиуретановая грунт-эмаль	Грунт-эмаль «3 в 1 Kolorit»
1	20	Отсутствует	Отсутствует	Годны			
2	16	Отсутствует	Отсутствует	Годны			
3	13,5	Отсутствует	Отсутствует	Годны			
4	12	Отсутствует	Отсутствует	Годны			
5	10	Отсутствует	Отсутствует	Годны			
6	8	Отсутствует	Отсутствует	Годны			
7	6	Отсутствует	Отсутствует	Годны			
8	5	Отсутствует	Отсутствует	Годны			
9	4	Отсутствует	Отсутствует	Годны			
10	3	Отсутствует	Отсутствует	Годны			

Как видно из результатов исследования, при испытании на прочность при изгибе (табл. 3) не произошло повреждения покрытия на всех испытуемых образцах. Это говорит о том, что исследуемые составы способны противостоять деформации под нагрузкой.

Подводя итог, можно сказать, что в результате исследования среди испытуемых составов с различными дисперсными системами наилучшие физико-механические свойства показал материал «грунт-эмаль «3 в 1 Kolorit». Покрытие на его основе обладает хорошей адгезией — 2,33 МПа, твердостью 2В и обладает хорошей прочностью при изгибе. Сочетание этих факторов в совокупности с защитными свойствами может обеспечить качественную и долговременную защиту сельскохозяйственной техники от атмосферной коррозии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуськов Ю.А. Исследование систем лакокрасочных покрытий, применяемых при окрашивании сельскохозяйственной техники, на сопротивление истиранию / Ю.А. Гуськов, В.Н. Хрянин, А.В. Пчельников, А.А. Железнов // Достижения науки и техники АПК. — 2016. Т.30. — № 11. — с. 118-120.
2. Простаков Н. С. Дисперсные фазы и их влияние на лакокрасочные покрытия / Н. С. Простаков, В. Н. Хрянин // Состояние и инновации технического сервиса машин и оборудования. — 2023. — № 15. — С. 42-45
3. Простаков Н. С. Обоснование выбора дисперсных систем для обеспечения коррозионной стойкости лакокрасочных покрытий сельскохозяйственной техники / Н. С. Простаков, В. Н. Хрянин // Промышленные покрытия. Актуальные технические решения. — 2024. — № 2. — С. 29-33

УДК 623.438

ПРОБЛЕМЫ, СВЯЗАННЫЕ С НАНЕСЕНИЕМ ЛАКОКРАСОЧНОГО ПОКРЫТИЯ НА ВОЗДУШНЫЕ СУДА СНЯТЫЕ С ЭКСПЛУАТАЦИИ, СПОСОБЫ ИХ РЕШЕНИЯ

М.Б. Карманова, д-р физ-мат. наук.

А.К. Сметанин, инструктор по вождению

*Новосибирский военный ордена Жукова институт имени генерала армии И.К. Яковлева
войск национальной гвардии Российской Федерации*

Аннотация. В статье рассказано о самолете Ту-104А, который вызывает большой общественный интерес. У большинства людей, посетивших аэродром с экскурсиями, самолет вызывал искренний восторг. Возможно, многие из тех, кто был на самолете — «влюбились в небо», а кто-то из детей и подростков определился со своей будущей профессией. К сожалению, у самолета медленно, но постепенно портится внешний вид, потому восстановление лакокрасочного покрытия становится с каждым днем наиболее значимой задачей.

Ключевые слова: аэродром, самолет, системы, восстановление, воздушные суда, эксплуатация.

На аэродроме Бердск — Центральный находится уникальный самолет Ту-104А с бортовым номером 42382, который покрашен в ливрею аэрофлота образца 1973 года. Самолет выпущен 29 июня 1958 года, в эксплуатации находился 20 лет. Крайний свой полет совершил 27 июня 1978 года из Новосибирска на аэродром Центральный Бердск, где был поставлен на долгую стоянку изначально как музейный экспонат, затем использовался в роли класса парашютной школы. После распада Советского Союза и закрытия парашютной школы самолет остался без присмотра и за это время его практически разграбили (рис. 1).



Рисунок 1 — Состояние кабины пилотов (2009 год)

С 2009 года самолет восстанавливается группой волонтеров, с того времени он изменился до неузнаваемости (рис. 2). Люди часто приезжают на аэродром на экскурсии и фотосессии, рассказывают о самолете в средствах массовой информации [1].



Рисунок 2 — Состояние кабины пилотов (2025 год)

Самолет имеет достаточно сложную конструкцию: фюзеляж самолета герметичен. При строительстве самолета для герметизации использовались различные уплотнительные материалы: тиоколовые ленты и смазки, уплотнительные каучуковые замазки, резиновые вулканизирующие ленты, пробковые ленты [2, с. 33]. Система кондиционирования Ту-104А работает либо от наземного кондиционера, которого нет, либо от компрессора работающего двигателя. Даже несмотря на то, что двигатели с самолета были сняты — воздух, поступающий через систему, должен пройти через несколько клапанов (рис 3). Объем поступающего воздуха при кондиционировании должен составлять 2500...3000 кг/ч [2, с. 135]. Из-за отсутствия кондиционирования воздуха фюзеляж изнутри подвергается воздействию вредных внешних факторов, таких как повышенная влажность, и воздействию биологических образований: мох, грибок, плесень.

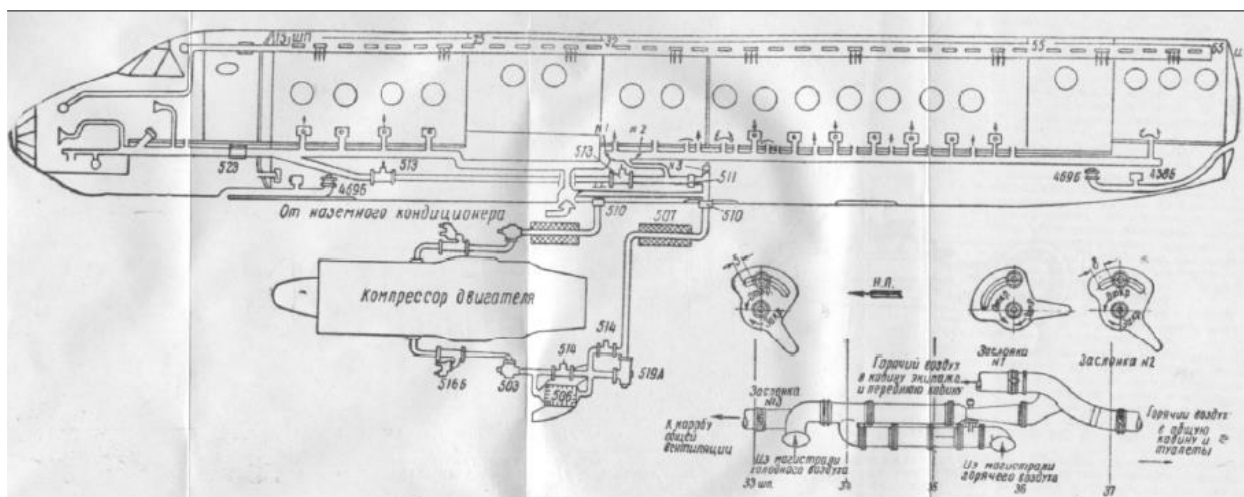


Рисунок 3 — Схема системы кондиционирования воздуха и расположение регулирующих заслонок магистралей горячего и холодного воздуха самолета Ту-104а

Длина фюзеляжа составляет 34,5 м. Диаметр — 3,5 м. Выполнен из листов сплава алюминия 4 видов толщиной от 1 до 3 мм. В силу работы фюзеляжа на высоких скоростях — требования к нему предъявленные конструкторами высокие, поверхность обшивки фюзеляжа делится на две зоны: первая зона — зона лобового сопротивления набегающего потока воздуха, где используются металлические листы наибольшей толщины и зона остальных участков поверхностей. К примеру: зона повышенных требований нижней части фюзеляжа располагается от передней части носка фюзеляжа до поперечного сечения, расположенного позади фонаря кабины пилотов, как раз именно в этой зоне фюзеляж самолёта подвержен меньшей коррозии. Вторая зона нижней части фюзеляжа расположена далее фонаря кабины пилотов, и в этой зоне фюзеляж подвергся коррозии больше (рис. 4) [2, с. 19]. При этом в самолетостроении для сбережения фюзеляжа наносится грунтовочное покрытие и с внутренней стороны.



Рисунок 4 — Коррозия фюзеляжа самолета

Металлические элементы за время, которое самолет не находился в эксплуатации (47 лет), подверглись воздействию коррозии. К примеру: вскрыть лючок механизации правого крыла при использовании ручного инструмента не получилось, так как все крепящие его винты выкрутить не оказалось возможным. Придется использовать электрические инструменты, что несет риск повреждения резьбы. Это касается и нижних замков гондол двигателей.

Одним из немаловажных вопросов восстановления и сохранения самолета является восстановление лакокрасочного покрытия. Как внешних элементов, таких как фюзеляж, крылья, стабилизатор, хвостовое оперение, стойки шасси и др., так и элементов внутри самой гермокабины. Задача при этом осложняется тем, что нельзя потерять историческую палитру

цветов и целостность элементов, так как некоторые элементы самолета остались в единственном экземпляре.

Для сбережения металлических элементов фюзеляжа сделано многое: была снята старая теплоизоляция, проводилась постоянная очистка от появляющихся биологических образований. Зимой производится очистка самолета от снега, в силу устаревших штатных влагопоглощающих материалов используются уже развешанные по герметичной кабине поглотители влаги, по мере возможностей проветривается гермокабина самолета путем открытия дверей, форточек кабины пилотов, открытием запасных выходов (рис. 5).



Рисунок 5 — Состояние салона самолета

На данный момент для защиты фюзеляжа от вредного биологического воздействия идет поиск подходящего антисептика. Антисептик будет нанесен на очищенную окрашенную металлическую поверхность, в первую очередь, на места, где появляются грибки, плесень, мох. Далее планируется восстановление лакокрасочного покрытия с точным сохранением ливреи.

Что касается воздушных судов находящихся в эксплуатации, обновление их лакокрасочных покрытий происходит на специализированных авиационных заводах в нескольких цехах: в первом смывочном цеху планер самолета готовят к снятию лакокрасочного покрытия и обрабатывают специальной краскоснимающей жидкостью, так же планер очищают от старого покрытия. После чего самолет перемещается в малярный цех, где его готовят к покраске и наносят новое лакокрасочное покрытие. Изначально первым слоем наносится основной цвет ливреи на весь планер самолета, далее по верх основного слоя наносится остальные части ливреи. Толщина такого может достигать до 0,2 мм. На схожий размерами с Ту-104а самолет Boeing 737ng может уйти более 100 кг эмалей [3, с. 22].

В силу того, что планер самолета собран из достаточно тонких листов алюминиевого сплава, снятие старого слоя лакокрасочного покрытия путем механического воздействия несет риски повреждения самих листов, а использование химических краскоснимающих средств на том месте, где был установлен самолет (рис. 6) приведет к нанесению экологического вреда, что недопустимо. Единственным возможным методом обновления лакокрасочного покрытия остается метод пневматического напыления нового покрытия поверх старого.

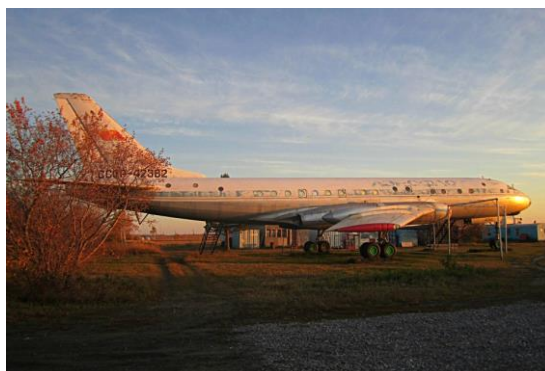


Рисунок 6 — Место стоянки самолета

Последний раз ливрея на этом самолете была изменена в начале 70-х годов прошлого века. Тогда для нанесения лакокрасочных покрытий на планеры воздушных судов использовались эмали КО-811; КО-88; КО-818. Но эти эмали пожароопасные, не смотря на их способность выдерживать температурные нагрузки до 400 °С. В настоящее время в авиастроении используют эмаль УР-1161 в комплексе с грунтовкой ЭЛ-0208 [4, с. 12].

Объемы предстоящих в будущем работ большие. Для восстановления цвета внутреннего пространства гермокабины некоторые элементы можно демонтировать и обеспечить их покраску в удобном месте. [5, с. 7] Для покраски элементов кабины пилотов, салонов, вестибюлей необходимо использовать эмали, подходящие под требования авиационных правил (АП-25) [6], которым соответствует эмаль водоразбавляемая ВЭ-67. Остальные элементы придется красить в самой герметичной кабине, для этого необходимо решить задачу с хорошей вентиляцией. Минимальный объем поступающего воздуха из системы кондиционирования для безопасного производства покрасочных работ должен составлять не менее 3000 кг/ч.

Для покраски же планера необходимо: рассчитать площади окрашиваемых поверхностей и на основе этих расчетов определить необходимый объем растворителя, грунтовки и эмалей согласно инструкциям к применяемым средствам. Размеры далеко не всех площадей можно найти в справочниках по самолету Ту-104А, потому будет произведено множество замеров, к примеру предстоит замерить площадь остекления кабины пилотов. Далее необходимо будет нейтрализовать ржавчину; обеспечить беспрепятственный доступ к электрической сети напряжением 220 вольт и минимальной мощностью 5 кВт; найти: компрессор мощностью от 2,5 кВт, шланг к компрессору длиной от 12 м, краскораспылитель, автомобильную вышку способную поднять человека на высоту до 10,5 м. Так как покраска будет происходить на месте стоянки самолета, нужно будет производить при хороших погодных условиях: отсутствие дождя и ветра при температуре окружающей среды выше 20 °С [7, с. 7].

Самолет Ту-104А вызывает большой общественный интерес. У большинства людей посетивших аэродром с экскурсиями, самолет вызывал искренний восторг. Возможно, многие из тех, кто был на самолете — «влюбились в небо», а кто-то из детей и подростков определился со своей будущей профессией. К сожалению, у самолета медленно, но постепенно портится внешний вид, потому восстановление лакокрасочного покрытия становится с каждым днем наиболее значимой задачей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. URL: <https://www.tu104a.ru>
2. Рыхлов А.Е., Милославский Е.М. Алексеев К.П. Главное управление гражданского воздушного флота при совете министров СССР. Справочник по самолетам Ту-104, Ту-104А и ту-104Б (для технического состава). — 1961.
3. URL: <https://avia.pro/sprav/publications/lkm/aircraft-paint>.

4. Семенова Л.В., Кузнецова В.А., Малова Н.Е.//Все материалы. Энциклопедический справочник, 2012 — №5.
5. Анализ средств для защиты лакокрасочных покрытий автомобилей / В.А. Волошин, А.В. Пчельников, А.П. Илясов, Д.В. Вилисов // Состояние и инновации технического сервиса машин и оборудования: материалы XIII Международной научно-технической конференции, посвященной 70-ти летию кафедры надежности и ремонта машин ФГБОУ ВО Новосибирского ГАУ, Новосибирск: Издательский центр Новосибирского государственного аграрного университета «Золотой колос», 2021, с. 5-8
6. Межгосударственный авиационный комитет. Авиационные правила. Часть 25. Нормы летной готовности самолетов транспортной категории, 2009.
7. Актуальные вопросы окрашивания военной техники / Д.В. Вилисов, О.Л. Ходоркин, А.Н. Луняка, А.В. Пчельников // Промышленные покрытия. Актуальные технические решения: Материалы II Всероссийской научно-практической конференции, Новосибирск, 25 мая 2024 года. - Новосибирск: ИЦ НГАУ «золотой колос», 2024. — с. 3-8.

УДК 691.17:667.6

ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ КОНСТРУКЦИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКИХ КОРРОЗИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

М.Х. Искандаров, аспирант¹

А.В. Пчельников, д-р техн. наук, доц.¹

А.П. Пичугин, д-р техн. наук, проф.¹

А.К. Туляганов, канд. техн. наук, доц.²

¹ *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия*

² *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «НГАСУ (Сибстрин)», Новосибирск, Россия*

Аннотация. В статье представлено изучение воздействие агрессивных факторов на лакокрасочные покрытия (ЛКП). Рассматривается влияние окисления, коррозии, температуры и физико-химические свойства ЛКП. Было определено воздействие агрессивных факторов на исследуемом лакокрасочном покрытии.

Ключевые слова: лакокрасочные материалы, образцы, свойства, покрытия, добавки, эксплуатация, химическое воздействие, термическое старение.

Актуальность.

В межсезонье не редко происходят резкие перепады температур, особенно в зоне резко континентально климатического пояса, что в свою очередь негативно сказывается на ЛКП сельскохозяйственной техники. Также на долговечность покрытия влияют механические нагрузки, атмосферные условия, солнечная радиация, химические воздействия и условия эксплуатации.

По этой причине испытания на старение материалов проводятся еще на стадии их разработки, с целью предотвращения повреждения материалов во время эксплуатации. Тем не менее для того, чтобы сэкономить время и средства, часто проводятся ускоренные испытания с увеличением нагрузки на материалы. Итоговая оценка определяет, пригоден ли этот материал для использования в намеченных целях, и эта информация может значительно уменьшить дальнейшие расходы, связанные с ремонтом или заменой этого компонента [1].

Для улучшения свойств лакокрасочных материалов используются различные добавки. В лакокрасочных материалах и добавках необходимо учитывать свойства отдельных компонентов лакокрасочного материала, а также влияния состава и свойств агрессивной среды как на покрытие, так и на металл. Особую значимость при выборе добавок необходимо обращать на их размерность, наноразмерные добавки позволяют придавать целый комплекс важных свойств создаваемым покрытиям.

На основании этого **цель исследования:** Целью исследования является анализ влияния химических и термически агрессивных сред на устойчивость лакокрасочного покрытия с добавками

В статье рассмотрены такие виды факторов как термическое старение и химическое воздействие на ЛКП в условиях сельского хозяйства.

Химическое воздействие на ЛКП.

Химическое воздействие на ЛКП может проявляться в виде реакции покрытия с агрессивными веществами, присутствующими в окружающей среде. Такие вещества могут включать кислоты, щелочи, растворители, соли и другие химические соединения, которые могут взаимодействовать с компонентами ЛКП, приводя к их деградации. Этот процесс может происходить как на поверхности покрытия, так и в его глубинных слоях, в зависимости от природы химического агента и свойств самого покрытия [2].

Для повышения химической стойкости ЛКП применяются различные подходы, такие как использование специальных добавок, модификация состава полимеров, разработка новых технологий нанесения и отверждения покрытий. Эти меры направлены на повышение устойчивости ЛКП к воздействию агрессивных химических агентов, что особенно важно для сельскохозяйственной техники, которая эксплуатируется в условиях агрессивной среды.

Химическое воздействие представляет собой серьезную угрозу для лакокрасочных покрытий, особенно в сельскохозяйственных условиях. Понимание механизмов деградации ЛКП под воздействием химических агентов позволяет разрабатывать более стойкие и долговечные покрытия, что в конечном итоге способствует повышению надежности [3].

Проведенные исследования показали, что химическое воздействие негативно сказывается на эксплуатационные свойства ЛКП. Результаты измерений представлены в (табл. 1).

Термическое старение.

В процессе эксплуатации материалы лакокрасочных покрытий (ЛКП) подвергаются различным видам внешних воздействий, среди которых термическое старение занимает одно из ключевых мест. Под воздействием высоких температур в течение длительного времени могут происходить значительные изменения в структуре и свойствах ЛКП, что может существенно повлиять на их эксплуатационные характеристики. Термическое старение ЛКП особенно актуально для сельскохозяйственной, где покрытия подвергаются значительным температурным колебаниям.

Исследование процессов термического старения позволяет предсказать долговечность и надежность ЛКП, а также разработать меры для повышения их устойчивости к внешним воздействиям. В данном исследовании были проведены испытания образцов ЛКП в лабораторных условиях с использованием термического шкафа, что позволило ускорить процесс старения и получить данные о поведении материалов при различных температурах.

Экспериментальные исследования термического старения ЛКП проводились в лабораторных условиях с использованием термического шкафа. Образцы ЛКП подвергались воздействию двух температурных режимах: 125 °C и 150 °C в течение 24 часов. После этого были проведены измерения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь, чтобы оценить изменения в электрических свойствах покрытий.

На кафедре «надежности и ремонта машин» Новосибирского аграрного университета разработан способ определения состояния покрытий по диэлектрическим характеристикам (пат. РФ № 2778798). Предлагаемый способ определения состояния лакокрасочных покрытий по диэлектрическим характеристикам осуществляют на базе известного способа,

предусматривающего определение изменения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь с помощью куметра, через определение параметра добротности и ёмкости объекта. Данный способ находится на экспериментальном этапе и для обеспечения применимости цифрового метода контроля состояния покрытия производится набор данных, чтобы установить взаимосвязь физико-механических и эксплуатационных свойств с диэлектрическими потерями.

Известно, что по электрическим свойствам все вещества и материалы разделяют на проводники, полупроводники и диэлектрики. Электропроводность - способность вещества или среды проводить электрический ток и накапливать в себе энергию или заряд-статическое электричество. Чем выше электропроводность, тем вещество является более антистатичным. В противном случае среда становится электроизоляционной. Диэлектрическая проницаемость характеризует изоляционные свойства объекта; чем выше диэлектрическая проницаемость, тем объект более проводимый, чем ниже, тем более теплоизоляционный [4].

Ещё одной характеристикой, подтверждающей способность объекта накапливать энергию, является тангенс угла диэлектрических потерь. По данной величине можно судить об антистатичности вещества при малых значениях, и, наоборот, при увеличении тангенса угла диэлектрических потерь. В свою очередь тангенс угла диэлектрических потерь не зависит от диэлектрической проницаемости [4].

Таблица 1

Образцы в химической среде

АС-182						
Вид добавок	Образцы до воздействия химической среды			Образцы после воздействия химической среды		
	Вес, гр	Толщина, мкм	Твёрдость по карандашу	Вес, гр	Толщина, мкм	Твёрдость по карандашу
Без добавки	2,173	98	НВ	2,174	98	В
УНТ-0,01%	2,104	102	Н	2,105	102	Н
УНТ-0,05%	2,063	94	Н	2,067	94	Н
УНТ-0,1%	2,116	97	2Н	2,118	97	2Н
ГМ-0,5%	2,169	65	Н	2,175	65	Н
ГМ-1%	2,189	76	Н	2,191	76	Н
ГМ-2%	2,113	63	2Н	2,116	63	2Н
ГА-0,5%	2,15	62	2Н	2,158	62	2Н
ГА-1%	2,138	56	2Н	2,149	56	2Н
ГА-2%	2,127	97	3Н	2,13	97	2Н
SiO ₂ -0,5%	2,084	55	Н	2,086	55	В
SiO ₂ -1%	2,126	67	2Н	2,127	67	В
SiO ₂ -2%	2,16	76	2Н	2,16	76	В
Bi ₂ O ₃ -0,5%	2,191	69	2Н	2,198	69	Н
Bi ₂ O ₃ -1%	2,166	102	2Н	2,167	102	Н
Bi ₂ O ₃ -2%	2,132	106	2Н	2,134	106	Н

Проведенные эксперименты показали, что термическое старение существенно влияет на диэлектрические свойства ЛКП. Результаты измерений представлены в (табл. 2).

Таблица 2

Результаты испытаний после термического старения

Образцы на основе ЛКМ (АС-182)	До климатических испытаний			После климатических испытаний					
				Первый режим			Второй режим		
	Тангенс угла диэлектрических потерь (tgδ)	Диэлектрическая проницаемость(ε)	Твердость	Тангенс угла диэлектрических потерь (tgδ)	Диэлектрическая проницаемость(ε)	Твердость	Тангенс угла диэлектрических потерь (tgδ)	Диэлектрическая проницаемость(ε)	Твердость
Bi ₂ O ₃ -0,5%	0,016	15,64	2Н	0,023	16,65	3Н	0,028	17,63	5Н
Bi ₂ O ₃ -1%	0,018	16,23	2Н	0,025	16,69	5Н	0,029	18,13	7Н
Bi ₂ O ₃ -2%	0,018	16,12	2Н	0,025	16,91	5Н	0,028	18,02	7Н
ГА-0,5%	0,017	16,17	2Н	0,029	17,56	3Н	0,036	18,36	4Н
ГА-1%	0,017	16,26	2Н	0,025	17,97	3Н	0,032	19,05	5Н
ГА-2%	0,018	16,69	3Н	0,029	18,40	4Н	0,033	19,16	5Н
ГМ-0,5%	0,018	16,33	Н	0,022	16,63	2Н	0,027	17,20	5Н
ГМ-1%	0,018	16,28	Н	0,021	16,44	2Н	0,025	17,34	2Н
ГМ-2%	0,018	16,41	2Н	0,022	16,72	3Н	0,025	17,86	4Н
SiO ₂ -0,5%	0,021	16,67	Н	0,023	16,98	2Н	0,031	18,74	2Н
SiO ₂ -1%	0,020	17,12	2Н	0,022	17,29	4Н	0,028	18,96	5Н
SiO ₂ -2%	0,021	17,45	3Н	0,023	17,66	4Н	0,030	18,52	5Н
УНТ-0,01%	0,011	17,81	Н	0,012	17,96	2Н	0,015	18,57	4Н
УНТ-0,05%	0,011	17,77	2Н	0,013	18,12	3Н	0,015	18,48	6Н
УНТ-0,1%	0,009	18,66	2Н	0,011	18,70	3Н	0,015	19,06	6Н
Эталон АС- 182	0,019	16,78	НВ	0,028	18,25	2Н	0,035	19,46	2Н

При введении разных добавок от 0 до 2% имеет место увеличение показателя добротности относительно эталонного образца у таких добавок как Bi₂O₃, гидроксида алюминия, гидроксид магния и УНТ, одновременно сопровождающееся понижением тангенса угла диэлектрических потерь с 0,019 до 0,009 (табл. 2). Снижение значения тангенса угла диэлектрических потерь более чем в 2 раза означает повышение антистатических качеств покрытия. Показатель диэлектрической проницаемости имеет значительное повышение, что свидетельствует о получении проводящего покрытия.

Результаты испытаний на изгиб свидетельствуют о том, что покрытия до воздействия термического старения показывают хорошую эластичность. Однако после термического старения они становятся хрупкими. При изгибе на стержне диаметром 5 мм наблюдается механическое разрушение и отслаивание. Однако, покрытия, содержащие углеродные

нанотрубки (УНТ), начинают разрушаться уже при 3 мм изгибе. Это говорит о том, что покрытие с добавкой УНТ имеет повышенную износостойкость к экстремальным температурам, о чем также свидетельствует тангенс угла диэлектрических потерь и диэлектрическая проницаемость.

Повышение твердости и одновременное снижение эластичности покрытий после термических испытаний указывает на изменения их физико-механических свойствах происходящими в материале под воздействием экстремальных условий.



Рисунок 1 — Испытания на изгиб до термического старения

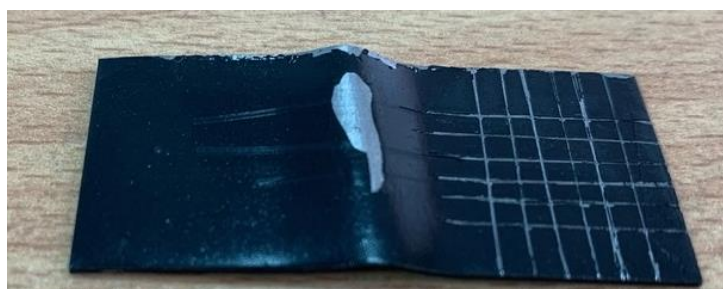


Рисунок 2 — Испытания на изгиб после термического старения

Исследования показали, что использование наномодифицированных добавок существенно улучшает свойства лакокрасочных материалов, повышая их устойчивость к агрессивным химическим веществам и экстремальным температурным воздействиям. Введение наночастиц, таких как углеродные нанотрубки и оксиды металлов, позволяет значительно повысить твердость, уменьшить диэлектрические потери и улучшить эластичность покрытий. Эти улучшения делают ЛКП более надежными и долговечными, что особенно важно для применения в агрессивных условиях эксплуатации сельскохозяйственной техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Компания BINDER. Искусственное старение. Прогноз поведения материала. URL: https://algimed.com/pdf/binder/mk115/2015_03_wp_Artificial_aging_RU.pdf (Дата обращения 30.05.2024)
2. Способы улучшения свойств лакокрасочных покрытий с помощью введения различных наполнителей / Н.А. Коврижкина, В.А. Кузнецова, А.А. Силаева, С.А. Марченко // Авиационные материалы и технологии. 2019. №4 (57). С.41-48.
3. Агрессивные среды и их действие на лакокрасочные покрытия [Электронный ресурс]. URL: <https://mash-xxl.info/info/647090/> (дата обращения: 28.05.2024).
4. Пчельников Александр Владимирович, Пичугин Анатолий Петрович, Луцик Роман Вячеславович, Ткаченко Сергей Евгеньевич ДИЭЛЬКОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И ПРОЦЕССА СТАРЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ // Эксперт: теория и практика. 2022. №1 (16).

НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ ЛАКОКРАСОЧНЫЕ ПОКРЫТИЯ С ВЫСОКОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТЬЮ

А.П. Илясов, инженер¹

Т.А. Вагина, магистрант¹

А.В. Пчельников, д-р техн. наук, доц.¹

А.К. Туляганов, канд. техн. наук, доц.²

¹ *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия*

² *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «НГАСУ (Сибстрин)», Новосибирск, Россия*

Аннотация. В данной статье рассмотрены вопросы использования наномодифицированных материалов в качестве добавок для лакокрасочных материалов (ЛКМ) с целью получения защитных покрытий со специальными характеристиками. Отдельное внимание уделено таким характеристикам как огнестойкость, антистатичность, радиационная стойкость, что особо важно для ряда объектов АПК. Установлено, что введение наноматериалов УНТ, оксида висмута, диоксида кремния и др. в отдельности и при совместном введении при определенном сочетании способствует повышению указанных характеристик в 1,5 – 3 и более раз.

Ключевые слова: лакокрасочные покрытия, наноматериалы, огнестойкость, антистатичность, радиационная стойкость, углеродные нанотрубки, диоксид кремния, оксид висмута.

Введение. Условия эксплуатации машин и оборудования, применяемых в агропромышленном комплексе, отличаются специфическими особенностями, и в определенных случаях для обеспечения безопасной эксплуатации технических объектов требуется уделять особое внимание мероприятиям, обеспечивающих сохранность техники, а также здоровья и жизни людей [1, 2].

Одними из таких особенностей являются условия высокой пожароопасности, в которых работают значительное количество техники и оборудования агропромышленного комплекса. Материальный ущерб от пожаров в АПК России ежегодно составляет около 6 млрд. рублей. Так, в результате возгораний происходит уничтожение более 7,5 тыс. единиц автотракторной. Одной из важных причин возгорания являются искры, вызванные накоплением статического электричества на поверхности машин и оборудования, особенно в условиях низкой влажности и повышенного трения. Например, оборудование для сушки и дробления зерна, а также другие подобные объекты представляют опасность, так как в условиях их эксплуатации повышается риск возгорания, взрыва, что приведет к уничтожению дорогостоящей техники и оборудования, и может привести к травмам и смерти сотрудников АПК [1-3].

При использовании сельскохозяйственной техники на территориях с радиоактивным загрязнением особое внимание следует уделять аспектам, связанных с ее безопасной эксплуатацией. Одной из ключевых задач является контроль радиационных загрязнений и минимизация их уровня с помощью дезактивационных мероприятий до безопасных показателей. Особую важность в этом вопросе следует уделять поверхностям сельскохозяйственных машин и оборудования, с которыми непосредственно взаимодействуют сельскими механизаторами (крышки топливных баков, крышки баков пускового механизма, лестницы и поручни для доступа к кабине сельскохозяйственной техники, ручки дверей, прицепной механизм и рукоятки регулировки прицепного механизма) [4-6].

Методы исследования. Для получения лакокрасочных покрытий использовали различные эмали, широко применяемые в агропромышленном комплексе и обоснованные в предыдущих исследованиях [2,4,7,8]. Для модификации эмалей использованы следующие микро- и наноразмерные модификаторы: углеродные нанотрубки, оксид висмута, гидроксид алюминия, гидроксид магния, цеолит, диоксид кремния, оксид титана.

Определение показателей горючести защитных покрытий определялась в соответствии с ГОСТ 30244 на устройстве для определения показателей горючести патент РФ № 2740179.

Антистатичность покрытий определялась в соответствии со способом определения диэлектрических характеристик лакокрасочных покрытий патент РФ № 2778798.

Обсуждение и результаты. Результаты исследований огнестойкости модифицированных лакокрасочных покрытий показали следующее (рисунок 1): - увеличение содержания гидроксида алюминия в акриловой эмали способствует повышению температуры воспламенения со 128 до 240 °С и увеличению времени сопротивления с 15 до 47 секунд. Однако, введение данного модификатора более 5% приводит к снижению адгезии покрытий с 1 до 3 баллов; - введение в акриловую эмаль гидроксида магния до 10% позволило выявить, что температура воспламенения покрытия возрастает с 128 °С до 168 °С, а время его сопротивления воспламенению увеличивается с 15 до 28 секунд. При этом адгезия лакокрасочного покрытия не изменяется и сохраняется на уровне 1 балла. Однако, повышение концентрации гидроксида магния более 10% приводит к снижению температуры воспламенения покрытия до 134,3 °С и времени сопротивления воспламенению до 25 секунд.

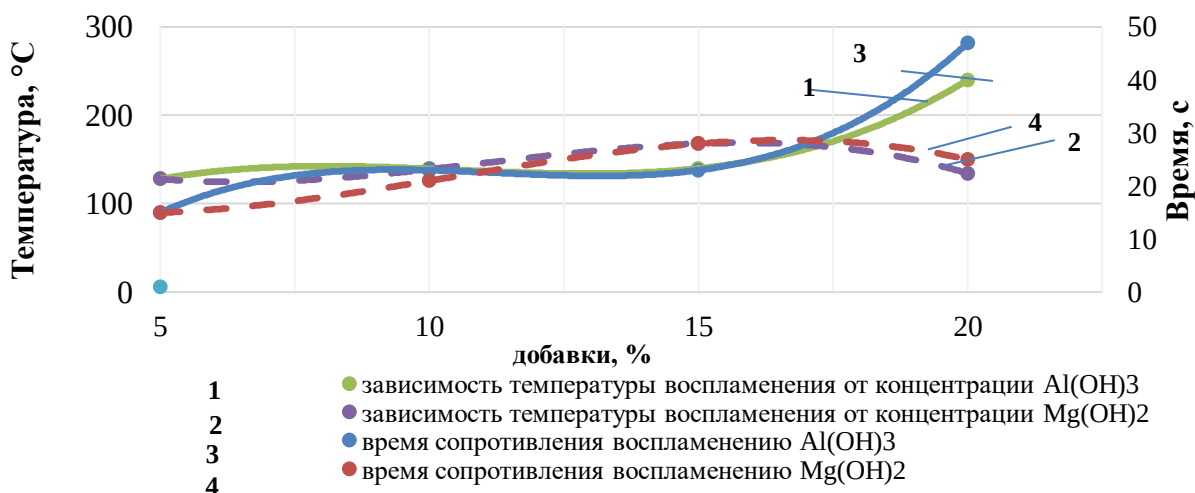


Рисунок 1 — Зависимость изменения огнестойкости лакокрасочных покрытий от концентрации гидроксида алюминия и гидроксида магния

Результаты испытаний электрических свойств модифицированных покрытий (тангенс угла диэлектрических потерь, который характеризует антистатические качества) представлены ниже (рис. 2).

Таким образом, при введении углеродных нанотрубок от 0 до 0,5%, происходит снижение тангенса угла диэлектрических потерь с 0,017 до 0,008, что обусловлено высокой электропроводностью и диамагнетической способностью вводимого модификатора. Снижение значения тангенса угла диэлектрических потерь более чем в 2 раза дает основание утверждать о повышении антистатических качеств покрытия. Однако следует учитывать фактор, того что при добавлении УНТ повышается вязкость материала, в следствие чего использование более чем 0,25% данного модификатора приводит к технологическому усложнению ЛКМ. Для обеспечения достаточной антистатичности защитные покрытия должны иметь электрическую проводимость не ниже значения 10^{-8} . Таким образом, известно, что при добавлении углеродных нанотрубок в состав ЛКМ 0,05% достаточно для получения покрытий с защитой от статического электричества.



Рисунок 2 — Зависимость изменения тангенса угла диэлектрических потерь от концентрации УНТ в составе ЛКМ

В таблице представлены результаты оценки устойчивости лакокрасочных покрытий к радиационным загрязнениям. Сочетание цеолита и алюмосиликатных микросфер приводит к снижению остаточной радиационной загрязненности на 45%, в то время как использование только цеолита или только алюмосиликатных микросфер приводит к снижению на 20% и 30% соответственно. Механизмы воздействия комбинации добавок на радиационную загрязненность требуют дальнейших исследований, но уже сейчас можно сделать вывод о том, что для достижения требуемого уровня радиационной защиты необходимо использовать комбинацию модифицирующих добавок в лакокрасочных покрытиях. Также исследования показывают, что цеолит, введенный в концентрации 1%, способствует снижению степени радиационной загрязненности на 25...35% по сравнению с образцами, применяемых без модификаторов. Увеличение процентного содержания цеолита более 1% практически не влияет на степень загрязненности. В тоже время сочетание цеолита с диоксидом кремния наблюдается ярко выраженное положительное влияние на загрязненность поверхности испытуемых образцов. Радиационное загрязнение снижается в три раза, до уровня 0,24 альфа-частиц/см²*мин, что значительно ниже, чем при использовании ПВХ. Значения радиационной загрязненности поверхности испытуемых образцов бета-частиц/см²*мин на поверхности испытуемых образцов также минимальны — 0,41 против 1,27 (табл. 1).

Таблица 1

Результаты оценки устойчивости лакокрасочных покрытий к радиационным загрязнениям

№ п/п	Образец	Уровень радиоактивного загрязнения на поверхности образца	
		альфа-част/см ² *мин	бета-част/см ² *мин
1	Без добавок	0,69	1,27
2	УНТ 0,1%	0,61	1,25
3	Оксид висмута 1%	0,63	1,39
4	Полиэтилен 1%	0,54	0,87
5	ПВХ 1%	0,41	0,46
6	Цеолит 5%	0,47	0,63
7	Диоксид кремния 0,5% + ПВХ 1%	0,32	1,0
8	Диоксид кремния 1% +ПВХ 1%	0,36	0,78
9	Диоксид кремния 0,5% + АСМС 1%	0,59	0,85
10	Диоксид кремния 1% +АСМС 1%	0,57	0,84
11	Диоксид кремния 0,5% + АСМС 1% + Оксид висмута 1%	0,61	0,83
12	Диоксид кремния 0,5% + Цеолит 1%	0,24	0,41
13	Диоксид кремния 0,5% + Оксид висмута 1%	0,46	0,58

Выводы. Выявлена потенциальная польза от применения сочетаний различных модификаторов для улучшения специальных характеристик лакокрасочных покрытий (огнезащита, электрозащита, радиационная защита) и определены рациональные сочетания модификаторов (гидроксид алюминия, гидроксид магния, цеолит, диоксид кремния, оксид висмута, УНТ и др.) в лакокрасочных материалах для улучшения характеристик покрытий техники и оборудования агропромышленного комплекса. Дальнейшие исследования планируется направить для уточнения концентраций модификаторов в различных лакокрасочных материалах, а также провести ряд физико-химических исследований для обоснования процессов происходящих в лакокрасочных покрытиях при их модификации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент Таможенного союза "О безопасности машин и оборудования", ТР ТС 010/2011 О безопасности машин и оборудования. Москва, 18 октября 2011 года N 823 (с изменениями на 16 мая 2016 года), 2016. — 35с.
2. Моделирование процесса и способы оценки горения защитных покрытий металлических конструкций и оборудования / А. В. Пчельников, А. П. Пичугин, В. Ф. Хританков, Е. А. Волобой // Известия высших учебных заведений. Строительство. — 2020. — № 6(738). — С. 81-90. — DOI 10.32683/0536-1052-2020-738-6-81-90. — EDN SZFISS.
3. ГБУ ВНИИПО МЧС РОССИИ, Пожары и пожарная безопасность, Статистический сборник, Статистика пожаров и их последствий, 2021. — 116 с
4. Защитные свойства композиций с наноразмерными и специальными добавками от радиационного воздействия / А. П. Пичугин, В. Ф. Хританков, А. В. Пчельников, Д. В. Ромашев // Известия высших учебных заведений. Строительство. — 2021. — № 12(756). — С. 24-33. — DOI 10.32683/0536-1052-2021-756-12-24-33. — EDN TMVLKO.
5. Рекомендации по ведению сельскохозяйственных работ в условиях радиоактивного загрязнения [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://chernobyl.mchs.gov.by/upload/iblock/a79/rec_sel_hoz_2012.pdf
6. Радиационная безопасность: Учеб. пособие / И.С. Асаенко, А.И. Навоша А 90 — Мн.: Бестпринт, 2004. — 105 с.
7. Пчельников, А. В. Обоснование факторов, влияющих на интенсивность изнашивания лакокрасочного покрытия днища и шнека жатки зерноуборочного комбайна / А. В. Пчельников, В. Н. Хрянин // Вестник ИрГСХА. — 2017. — № 81-2. — С. 117-124. — EDN ZFOTVP.
8. Дизелькометрический анализ эксплуатационных характеристик и процесса старения защитных покрытий / А. В. Пчельников, А. П. Пичугин, Р. В. Луцки, С. Е. Ткаченко // Эксперт: теория и практика. — 2022. — №1(16). — С. 14-22. — DOI 10.51608/26867818_2022_1_14. — EDN WIQQMF.

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Н.В. Мамзин магистрант¹

А.В. Пчельников, д-р техн. наук, доц.¹

А.П. Пичугин, д-р техн. наук, проф.

А.К. Туляганов, канд. техн. наук, доц.²

¹ *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия*

² *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «НГАСУ (Сибстрин)», Новосибирск, Россия*

Аннотация: В статье рассматриваются вопросы, связанные с разработкой методов неразрушающего контроля защитных покрытий. Отдельное внимание уделяется методам машинного обучения. Представлены начальные разработки программно аппаратного комплекса для неразрушающего контроля качества защитных покрытий, приведен анализ патентных решений, указаны перспективы внедрения в разных сферах промышленности.

Ключевые слова: защитные покрытия, машинное обучение, неразрушающий контроль, коррозия.

Коррозионные потери коллосальны, каждый год составляют до 10% мирового металлофонда. По оценкам экспертов, потери от коррозии и общие годовые расходы на борьбу с последствиями коррозии составляют от 1 до 5 % ВВП [9].

Так, например, в Китае потери от воздействия коррозии составляют 3,3 % от ВВП, в США — 3,1 %. В Российской Федерации подобная статистика не ведется, но по опыту других стран можно сделать вывод, что экономические потери в нашей стране составляют от 1,3 до 6,5 трлн руб. в год [7].

В нашей стране, общий металлофонд составляет 1,6 млрд т, при этом 40–50% металлических конструкций и сооружений работают в агрессивных средах, 30% — в слабоагрессивных, и только около 10% не требуют антикоррозионной защиты [8].

Коррозионные процессы представляют собой серьезную проблему для промышленности, особенно в условиях агрессивных сред, где скорость деградации защитных покрытий возрастает в несколько раз [2]. Так, в сельском хозяйстве агрессивное влияние пестицидов, удобрений повышенной влажности, механических воздействий сокращает срок службы эксплуатационных объектов на 20–40%, по сравнению с нормальными условиями [5]. В химической промышленности, из-за агрессивной среды срок службы сокращается до 50% [3].

Возникновение и развитие коррозии обусловлено потерей защитных свойств покрытий, в следствие комплексного воздействия агрессивных сред, в которых работают эксплуатируемые объекты [6]. На основании вышесказанного, для предотвращения коррозии, необходимо своевременно контролировать состояния покрытия и их ремонтировать. При этом традиционные методы контроля качества защитных покрытий недостаточно эффективны: визуальный осмотр не позволяет выявить скрытые дефекты, механические измерения микрометрами и штангенциркулями не обеспечивают необходимой точности измерений.

В связи с этим, возникает необходимость во внедрении систем мониторинга качества покрытий, способных не только фиксировать текущее состояние, но и прогнозировать остаточный ресурс материала. Такой подход позволит перейти от устранения последствий коррозии к управлению эксплуатационными рисками, минимизируя экономические потери и обеспечивая безопасность эксплуатации.

Исходя из вышесказанного, целью исследования является, повышение точности оценки качества различных типов защитных покрытий, путем применения методов машинного обучения.

На начальном этапе запланировано исследование свойств защитных покрытий, применяемых для сферы сельского хозяйства, том числе, в соответствии с ГОСТ 6572-91 «Покрытия лакокрасочные тракторов и сельскохозяйственных машин. Общие технические требования». Методика исследования свойств лакокрасочных покрытий определена в соответствии со следующими стандартами:

1. ГОСТ Р 54563-2011 (ИСО 2409:2007) Материалы лакокрасочные. Определение адгезии методом решетчатого надреза;

2. ГОСТ 32299-2013 Материалы лакокрасочные. Определение адгезии методом отрыва;

3. ГОСТ Р 54586-2011 (ИСО 15184:1998) Материалы лакокрасочные. Метод определения твердости покрытия по карандашу;

3. ГОСТ 31974-2012 Материалы лакокрасочные. Метод определения прочности покрытия при изгибе вокруг цилиндрического стержня;

4. ГОСТ 9.401-2018 Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Общие требования и методы ускоренных испытаний на стойкость к воздействию климатических факторов;

5. ГОСТ 9.403-80 Покрытия лакокрасочные. Методы испытаний на стойкость к статическому воздействию жидкостей;

6. ГОСТ Р 53007-2008 (ИСО 6272-1:2002, ИСО 6272-2:2002) Материалы лакокрасочные. Метод испытания на быструю деформацию (прочность при ударе).

Также планируется оценка диэлектрических характеристик лакокрасочных покрытий. Данные характеристики планируется определять с помощью устройства по измерению добротности. Методика запатентована сотрудниками кафедры «Надежность и ремонт машин» ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ «Способ определения состояния лакокрасочных покрытий по диэлектрическим характеристикам» (патент на изобретение РФ №2778798) [3].

На основе результатов исследования, в соответствии с вышеприведенными методами, будет формироваться структурированная база данных, за счет которой, будут установлены корреляции с применением алгоритмов машинного обучения, между параметрами диэлектрических характеристик и физико-механическими свойствами покрытий.

Таким образом, на сегодняшний день в ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ разрабатывается, программно-аппаратный комплекс (ПАК) для автоматизированной оценки качества промышленных покрытий с элементами искусственного интеллекта. Продукт сочетает в себе функции диагностического оборудования и интеллектуальной аналитической системы. Ключевая инновация заключается в реализации самообучающейся системы диагностики, основанной на алгоритмах машинного обучения.

В качестве базового алгоритма оценки покрытий используется многослойный перцептрон, обученный на структурированной базе данных, содержащей эталонные значения для различных типов покрытий и их состояний (от "годен" до "критический износ").

Нейросеть проводит их сравнительный анализ в результате полученных, характеристик покрытий с помощью прибора, с имеющимися в базе данных образцами, выявляя скрытые закономерности и корреляции. На основе анализа модель классифицирует состояние покрытия, определяя:

- степень деградации;
- тип дефекта (трещины, отслоения, коррозия);
- прогнозируемый остаточный ресурс.

Результат в формате "годен/не годен" с дополнительными рекомендациями выводится на дисплей прибора в реальном времени. Методика оценки защитных покрытий с помощью ПАК состоит из 3-х этапов (рисунок 1).

Каждый из этапов работы программно-аппаратного комплекса представляет собой строго регламентированную процедуру, обеспечивающую точность и достоверность оценки состояния защитных покрытий.

Первый этап работы - неразрушающий контроль защитных покрытий:

- Перед проведением работ проводят подготовку поверхности (очистка от загрязнений без абразивной обработки);

- Выбирают участки на поверхности без визуальных повреждений, включают портативный диагностический прибор и проводят автоматическую его самодиагностику и калибровку;

- Выбирают тип покрытия в меню прибора;

- Устанавливают значение входных параметров прибора, при которых будет проводиться проверка;

- Контактный датчик прибора устанавливают на поверхность;

- Фиксируют показания прибора.

Оператор имеет возможность регулировать параметры измерений: температура окружающей среды, относительная влажность воздуха, тип материала, возраст покрытия

Второй этап - первичная обработка данных в автоматическом режиме: осуществляется обработка данных и сравнение с эталонными значениями для данного типа покрытия. Происходит измерение следующих параметров: текущие физико-механические и защитные свойства покрытий (адгезия, твердость и др.). Нейросеть проводит анализ параметров с имеющимися в базе данных образцами, классифицирует состояние покрытия.

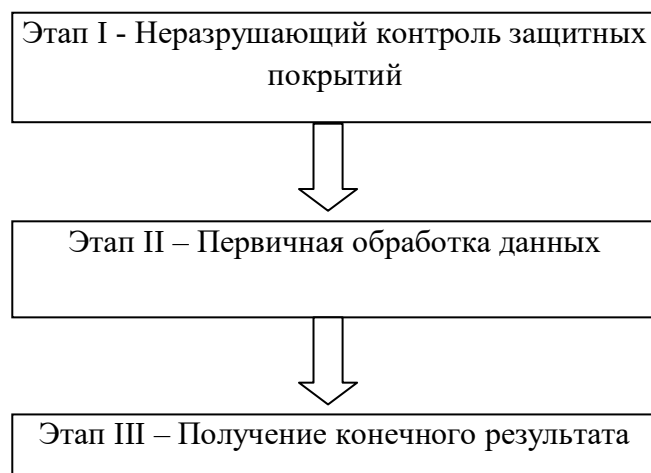


Рисунок 1 — Методика проведения работ программно-аппаратного комплекса

Третий этап — получение конечного результата. На основании загруженной базы данных, нейросетевая модель проводит глубокий анализ полученных параметров, что позволяет получить характеристику защитных покрытий: текущее состояние в формате годен/не годен, классифицировать дефекты, прогнозировать остаточный ресурс и срочность проведения ремонта покрытий. Таким образом, разрабатываемая нейросетевая модель позволит автоматизировать оценку покрытий, определяя их текущее состояние, и произвести прогноз остаточного ресурса, предупреждая о необходимости ремонта до критического разрушения.

На данный момент для реализации проекта разработан прототип устройства (рисунок 2) и способ экспресс-оценки защитных покрытий неразрушающими методами (RU 2792698 способ экспресс-оценки состояния защитных покрытий) [1], позволяющий проводить комплексный анализ физико-механических и электрохимических характеристик. В рамках предварительных исследований сформирована начальная база данных, содержащая значения параметров различных типов покрытий при их деградации в агрессивных средах

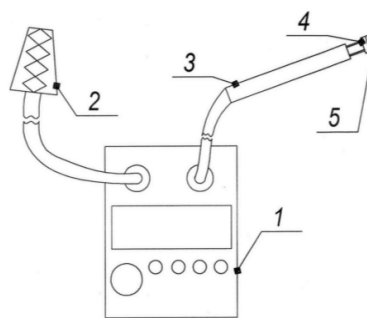


Рисунок 2 — Прототип прибора экспресс-оценки состояния защитных покрытий: 1 — главный блок; 2 — щуп заземления; 3 — измерительный щуп; 4 — измерительный индикатор; 5 — токопроводящая подложка

Разработка может представлять значительный интерес для широкого круга отраслей, работающих в условиях агрессивных сред и требующих регулярного контроля защитных покрытий. Особое значение технология имеет для сельскохозяйственных производителей.

Данный способ может быть также востребован в транспортной инфраструктуре, коммунальном хозяйстве и строительстве, и в целом позволяет перейти от планово-предупредительных ремонтов к обслуживанию по фактическому состоянию, что обеспечивает сокращение ресурсов и энергозатрат, связанных с уменьшением коррозионных потерь металлов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент № 2778798 С1 Российская Федерация, МПК G01R 27/26. Способ определения состояния лакокрасочных покрытий по диэлектрическим характеристикам : № 2021123174 : заявл. 30.07.2021 : опубл. 25.08.2022 / А. П. Пичугин, А. В. Пчельников, А. П. Илясов [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования "Новосибирский государственный аграрный университет".
2. Абдурахмон Ахтамович Гаффоров, Журабек Туронович Бозоров, Мирвохид Олимович Сатторов Исследование скорости коррозии и классификация агрессивных сред // Scientific progress. 2021. №2.
3. Джамалова Г.А. Анализ условий и факторов, влияющих на коррозию металлов/ Джамалова Г.А., Ерназарова А.К., Мусина У.Ш., Сертай С.А., Сериков Т.А // Научное обозрение. Реферативный журнал. — 2018. — № 2. — с. 6–14.
4. Пчельников Александр Владимирович, Пичугин Анатолий Петрович, Луцик Роман Вячеславович, Ткаченко Сергей Евгеньевич Диэлькометрический анализ эксплуатационных характеристик и процесса старения защитных покрытий // Эксперт: теория и практика. 2022. №1 (16).
5. Пчельников, А. В. Совершенствование процесса защиты жаток зерноуборочных комбайнов при их ремонтном окрашивании : специальность 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Пчельников Александр Владимирович. — Мичуринск, 2018. — 181 с.
6. Терентьев В.В. Предупреждение разрушения сельскохозяйственной техники при хранении/ Терентьев В.В., Андреев К.П., Аникин Н.В., Шемякин А.В., Шпак А.А., Терентьев А.С. // Научный журнал КубГАУ. — 2021. — № 168(04). — с. 1–15
7. Устойчивость различных ЛКМ покрытий к воздействию агрессивных сред [Электронный ресурс] // Ладога-СПб. — URL: <https://ladogaltdspb.ru/stati/ustojchivost-razlichnyh-lkm-pokrytij-k-vozddejstviyu-agressivnyh-sred/> (дата обращения: 13.05.2025).
8. Хрянин, В. Н. Исследование износостойкости лакокрасочных покрытий рабочих органов сельскохозяйственных машин / В. Н. Хрянин, А. В. Пчельников // Ремонт. Восстановление. Модернизация. — 2019. — № 7. — с. 44-48.

9. Экономический ущерб от коррозии [Электронный ресурс] // Mining Expo. — URL: <https://www.miningexpo.ru/articles/424> (дата обращения: 11.05.2025).

10. Якупов С.Н., Некоторые проблемы коррозионного износа/ Якупов С.Н. // Институт механики и машиностроения Казанского научного центра РАН — 2016. — с. 52-57.

УДК: 629.7.023.222

ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ В СОЗДАНИИ ДОЛГОВЕЧНЫХ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

Я.В. Журавлев, студент¹

Т.А. Вагина, магистрант¹

А.В. Пчельников, д-р техн. наук, доц.¹

А.К. Туляганов, канд. техн. наук, доц.²

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «НГАСУ (Сибстрин)», Новосибирск, Россия

Аннотация. Современные лакокрасочные покрытия (ЛКП) для автомобилей представляют собой высокотехнологичные материалы с уникальными защитными и декоративными свойствами. В работе рассмотрены четыре основных типа покрытий: полимерные, керамические (Self-Heal Plus), "умные" (разработки NASA) и нанопокртия. Проведен сравнительный анализ их физико-химических характеристик, включая твердость, термостойкость, гидрофобность, способность к самовосстановлению и срок службы. Особое внимание уделено особенностям нанесения, эксплуатации и стоимости материалов. Результаты показывают, что выбор оптимального ЛКП зависит от условий эксплуатации, требований к защите и бюджета. Полимерные покрытия демонстрируют лучшую долговечность (до 12 лет), керамические — превосходную стойкость к царапинам, а инновационные решения (нанопокртия, NASA-технологии) открывают новые возможности для автомобильной промышленности.

Ключевые слова: лакокрасочные покрытия, полимерные материалы, керамические покрытия, нанопокртия, самовосстановление, срок службы, автомобильная промышленность.

1. Полимерное покрытие.

Состав и технология производства.

Полимерные покрытия создаются на основе сложных химических соединений. Основные компоненты: полиуретаны, эпоксидные смолы, акриловые сополимеры. Добавки: УФ-стабилизаторы (2...5%), антикоррозийные ингибиторы (1...3%), пластификаторы. Производственный процесс включает 3 этапа: синтез полимерной основы, добавление модификаторов, гомогенизация смеси.

Механизм самовосстановления.

Технология работает за счет: Микрокапсул диаметром 50-200 мкм, содержащих жидкие полимеры. При повреждении капсулы лопаются, высвобождая восстановительный состав. Процесс активируется при температуре от +20°C до +60°C. Время восстановления: 24-72 часа.

Технология нанесения.

Подготовка поверхности: Мойка с обезжириванием (рН-нейтральные составы). Абразивная обработка (P800-P1200). Химическое травление для улучшения адгезии.

Нанесение: 3 слоя распылением при давлении 2,5...3 атм. Температура в камере: 60...80°C. Время сушки между слоями: 15...20 минут.

Стоимость.

Материалы: 5 000...12 000 руб./л. Работы: 25 000...70 000 руб. (зависит от класса авто).

Эксплуатационные особенности.

Первые 14 дней — Запрещена мойка под давлением
Долгосрочный уход: Специальные шампуни (pH 5,5...7,0), Полировка 1 раз в 6-12 месяцев, Запрещены восковые составы

Срок службы.

Гарантия производителя: 3 года. Фактический срок: 7...12 лет (при соблюдении условий). Критерии износа: потеря глянца >30%, появление микротрещин.

Преимущества и недостатки.

Преимущества: лучшая защита от коррозии, возможность локального ремонта, широкий выбор цветов, стабильность при перепадах температур. Недостатки: сложность ремонта глубоких повреждений, требовательность к условиям нанесения, высокая стоимость качественных материалов.

Его лучше использовать с органическим фототермическим красителем, который преобразует инфракрасный солнечный свет в тепловую энергию, что повышает температуру поверхности защитного покрытия. Использование органических фототермических красителей в составе покрытия имеет преимущество тем, что требует гораздо меньше энергии.

2.Self-Hel Plus.

Химический состав.

Основной компонент: SiO₂ (85...92%). Добавки: TiO₂ (3...5%) — для УФ-защиты. Полисилоксаны (5...8%). Наночастицы серебра (0,1...0,5%). Нанотехнологии самовосстановления. Молекулярный механизм: при повреждении разрываются Si-O связи. Под воздействием тепла (>40°C) происходит рекомбинация связей. Время восстановления: 1...3 часа. Визуальный эффект: Царапины до 1 мкм исчезают полностью. Повреждения 1...3 мкм уменьшаются на 70...80%.

Профессиональное нанесение.

Подготовка: Полная декапитация ЛКП. Аппаратная полировка в 3 этапа. Обезжиривание спиртовым раствором. Нанесение: 2 слоя керамики. Активация ИК-излучением. Финишная полировка через 24 часа.

Стоимость.

Стандартный комплект: 15 000...35 000 руб.

Премиум-версия: до 60 000 руб.

Стоимость работ: 30 000...80 000 руб.

Рекомендации по эксплуатации.

Первые 7 дней — запрещено мытье, избегать попадания химикатов. Регулярный уход: бесконтактная мойка, специальные керамические концентраты, запрещены абразивные составы.

Ресурс покрытия.

Гарантия: 2 года.

Фактический срок: Умеренный климат — 3...5 лет. Агрессивная среда — 2...3 года.

Критерии износа: снижение гидрофобности, появление матовых участков.

Преимущества и недостатки.

Преимущества: высокая стойкость к химии, эффект самоочистки, защита от термических воздействий.

Недостатки: требует профессионального ухода, ограниченный ремонтпригодность. высокие требования к подготовке поверхности.

Умное покрытие NASA.

Исследователи NASA разработали «умное» покрытие из-за коррозионной среды Космического центра Кеннеди (KSC) во Флориде. Высокая солёность морской среды в сочетании с солнечным светом, жарой и влажностью делает KSC одним из самых коррозионных районов страны.

Основная матрица: полимер с памятью формы, углеродные нанотрубки.
Активные компоненты: фотохромные красители, термочувствительные микрокапсулы.

Перспективы применения. Планируемый срок выхода на рынок: 2026...2028 гг.

Ожидаемая стоимость: от 70 000 руб./м². Потенциальные модификации для разных климатических зон.

Принцип работы покрытия основан на контролируемом высвобождении ингибиторов коррозии и индикаторов из специально разработанных микрокапсул и частиц.

Особенности технологии:

– Покрытие обнаруживает коррозию на ранних стадиях, ингибирует её и/или восстанавливает.

– Начало коррозии вызывает высвобождение соединений, которые указывают и ингибируют коррозию.

– Механическое повреждение покрытия вызывает высвобождение плёнообразующих соединений для ремонта повреждения.

– Микрокапсулы можно адаптировать для включения в разные системы покрытий.

Цель разработки — снизить затраты на обслуживание и улучшить безопасность, предотвращая катастрофические коррозионные сбои.

По мнению разработчиков, покрытие может сократить затраты на жизненный цикл инфраструктуры, продлевая срок службы подверженных коррозии структур и компонентов.

В научной статье, опубликованной в электронной библиотеке «КиберЛенинка», приводятся предварительные данные, которые предполагают возможность значительного увеличения срока службы самовосстанавливающегося покрытия.

Согласно этим данным, характеристики самовосстанавливающегося покрытия после 1000 часов воздействия соляного тумана превышают показатели стандартного покрытия уже через 250 часов.

Однако, по мнению некоторых учёных, самовосстанавливающиеся покрытия не могут гарантировать длительную службу. Это связано с тем, что при механическом повреждении контейнеров с ингибиторами коррозии происходит неконтролируемое одноразовое высвобождение этих веществ. Защитные свойства покрытия в таком случае вскоре исчезают.

2. Нанопокрyтия.

Преимущества использования нанопокрyтий:

– Высокие защитные показатели. Нанокерамика способна защитить поверхность кузова и стёкол от сколов, царапин, различных химических воздействий, УФ-излучения и т. д.

– Декоративный эффект. Помимо защиты, керамическое покрытие обеспечивает эффект гладкой глянцевой поверхности на достаточно длительный срок.

– Более простой уход. Керамическое покрытие характеризуется способностью отталкивать грязь, поэтому даже в плохую погоду можно обойтись без мойки в течение нескольких недель.

Недостатки нанопокрyтий:

– Большое количество низкокачественных материалов. В связи с высокой популярностью нанопокрyтия, рынок наводнили мошенники, которые продают низкокачественные составы, которые не соответствуют заявленным характеристикам.

– Сложность нанесения. Работа с нанокерамикой требует определённых навыков и технических средств, поэтому нанести её в гаражных условиях не удастся.

Технология нанесения нанопокрyтия:

1. Поверхность тщательно моется и очищается от всех загрязнений.

2. Производится обработка поверхности обезжиривающими составами, которые не имеют негативного влияния на ЛКП и стёкла.

3. Полировка поверхности и устранение различных дефектов для получения гладкой глянцевой поверхности.

4. Нанесение нанокерамической пасты на поверхность кузова или стекла.

5. Сушка (занимает около 5...8 часов).

Толщина нанопокрывтия для автомобильного стекла измеряется в нанометрах, наиболее распространённый диапазон — 50...100 нм.

Состав нанопокрывтия для автомобилей может варьироваться в зависимости от производителя.

Компоненты, которые часто встречаются в составе нанопокрывтий:

– SiO₂. Основной компонент, который обеспечивает высокую гидрофобность материала. В качественных составах доля SiO₂ должна составлять не менее 50%.

– SiC. Используется в составе для упрочнения готового нанопокрывтия.

– TiO₂. Определяет твёрдость материала и обеспечивает защиту обрабатываемой поверхности от воздействия УФ-излучения.

Пилотные проекты у ведущих автопроизводителей. Ожидаемый срок массового внедрения: 2025...2027 гг.

Таблица 1

Сравнительная таблица характеристик ЛКП

Характеристика	Полимерные покрывтия	Керамическое Self-Heal Plus	Умное покрывтие NASA	Нанопокрывтия
Толщина (мин/макс), мкм	120...350	2...10	50...100	0,3...15 нм
Глянец, GU	85...95	90...98	Нет данных	Нет данных
Стойкость к абразивам (циклы)	500...800 (Taber)	1000+	Нет данных	1500+
УФ-защита	Хорошая	99% ($\Delta E < 1$ после 3000 ч)	Фотохромные свойства	Зависит от состава
Сопротивление царапинам	15-20 Н	20-25 Н	Самовосстанавливается	30+ Н
Гидрофобность (контактный угол)	95-110°	115-125°	Регулируемая	110-130°
Прочность, ГПа	0.1-0.3	8-12	5-7	25-130
Электропроводность	Изолятор	10 ⁻¹² См/м	Регулируемая (10 ³ -10 ⁵ Ом·см)	От изолятора до 10 ⁶ См/м
Адгезия (баллы)	1-2 (ГОСТ 15140)	1	Нет данных	0-1
Ударная прочность, см·кг	50-80 (Гарднер)	Нет данных	Нет данных	Нет данных
Химстойкость (pH)	2-12	1-14	0-14	0-14
Термостойкость, °C	-60...+120	-50...+800	-100...+300	-200...+600
Кэф. термического расширения, 10 ⁻⁶ /°C	60-80	5-10	2-5	1-3
Диэлектрическая проницаемость	3.8-4.5 (1 кГц)	3.5-4.5	Зависит от режима	Зависит от типа
Теплопроводность, Вт/(м·К)	0.2-0.5	0.8-1.2	0.5	5000 (графен)
Кэф. отражения, %	85-92 (400-700 нм)	90-95	Регулируемый	97-99
Термостабильность	До 120°C	До 800°C	До 300°C	До 600°C
Вязкость разрушения, МПа·м ^{1/2}	Нет данных	Нет данных	2.5	3-5
Оптическая прозрачность, %	Нет	Нет	Да (регулируемая)	97-99
Электросопротивление	>10 ¹² Ом·м	>10 ¹² Ом·м	10 ³ -10 ⁵ Ом·см	Регулируемое
Прочность на изгиб, %	Нет данных	Нет данных	5-7 (радиус 1 мм)	3-5

Коэф. теплопередачи, Вт/(м²·К)	Нет данных	Нет данных	0.5	5000+ (графен)
Цветовая палитра	20 000+ оттенков	Прозрачное	Адаптивная	Прозрачное/цветное
Изменение цвета при деформации	Нет	Нет	Да ($\Delta E > 5$)	Нет
Циклы самовосстановления	Ограниченные	Неограниченные (мелкие)	500+	Нет

Данные основаны на лабораторных испытаниях и могут отличаться для конкретных коммерческих продуктов. Отсутствующие данные означают, что характеристика не измерялась или не применима для данного типа покрытия. Цены указаны для материалов среднего ценового сегмента в РФ на весну 2025 год. В стоимость не входят работы по подготовке поверхности и нанесению (+30...50% к цене материала). Для NASA-покрытий указаны прогнозные цены, так как технология пока не коммерциализирована.

Современные технологии защиты кузова автомобилей достигли невероятного уровня развития, предлагая потребителям широкий спектр решений для различных условий эксплуатации и бюджетов. На основании проведенного анализа можно сделать следующие ключевые выводы:

Для максимальной защиты традиционные полимерные покрытия остаются бесспорным лидером благодаря: проверенной временем технологии высокой ремонтпригодности, длительному сроку службы (до 12 лет), широкой цветовой гамме.

Для премиального сегмента керамические покрытия типа Self-Heal Plus предлагают: уникальные самовосстанавливающиеся свойства, исключительный глянец и гидрофобный эффект, защиту от экстремальных температур, хотя требуют более тщательного ухода.

Перспективные разработки (NASA и нанопокрывтия) обещают революцию в ближайшие 3...5 лет: адаптивные свойства, индикацию повреждений, невероятную прочность при минимальной толщине, пока остаются дорогостоящими и труднодоступными.

Рекомендации по выбору:

Для повседневной эксплуатации в городских условиях оптимальны полимерные покрытия. Для автомобилей премиум-класса стоит рассмотреть керамические решения. При подготовке к сложным климатическим условиям рекомендуется комбинированная защита. За инновационными технологиями стоит следить, но массовое внедрение ожидается не ранее 2026 года.

Важно учитывать:

- Климатические особенности региона;
- Интенсивность эксплуатации автомобиля;
- Готовность владельца к специальному уходу;
- Бюджет на первоначальное нанесение и последующее обслуживание.

Современный рынок предлагает решения для любых потребностей - от базовой защиты до высокотехнологичных покрытий с "умными" функциями. Главное - сделать осознанный выбор, основываясь на объективных характеристиках и реальных условиях эксплуатации конкретного автомобиля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клековкин Игорь Михайлович, Лиценко Даниил Сергеевич, Тимофеева Галина Юрьевна САМОВОССТАНАВЛИВАЮЩИЕСЯ ПОЛИМЕРНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА АВТОМОБИЛЯХ // Проблемы экспертизы в автомобильно-дорожной отрасли. 2024. №3 (12). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/samovosstanavlivayuschiesya-polimernye-pokrytiya-na-avtomobilyah> (Дата обращения 05.07.2025г.).

2. Feynlab® Self Heal Plus, SAE Technical Papers - №2022-01-0123 // [Электронный ресурс]. URL: <https://www.feynlab.com/product/feynlab-self-heal-plus/> (дата обращения: 05.07.2025г.)
3. Smart Coating for Corrosion Detection and Protection (KSC-TOPS-1) // [Электронный ресурс]. URL: <https://technology.nasa.gov/patent/KSC-TOPS-1> (дата обращения 05.07.2025г.)
4. Перманентное покрытие для современных систем ЛКП - Coat Ultima - HSH Technology // [Электронный ресурс]. URL: <https://servfaces.com.ru/catalog/sfery/avtomobili/coat-ultima-hsh-technology-new-formula-2020-50-ml/> (дата обращения 06.07.2024г.).
5. Официальные технические бюллетени PPG, Ceramic Pro, 3М // [Электронный ресурс]. URL: <https://ceramicpro.com/technology-testing/> (дата обращения 06.07.2025г.)

Содержание

Авдюшенко В.Ю., Дубляженко К.И., Фомченко И.А. Техническое обеспечение воинских частей и защита автомобилей путем ремонтной окраски подразделениями войск национальной гвардии.....	3
Тарасенко В.Е. Диагностирование зарождающихся эксплуатационных дефектов на примере топливных форсунок.....	6
Заречный С.С., Сметанин А.К., Фомченко И.А., Дубляженко К.И. Изменение цвета лакокрасочных покрытий вооружения, военной и специальной техники в процессе эксплуатации....	10
Комаров А.О., Понизовский А.Ю. Обоснование выбора режимов напыления при восстановлении латунных деталей машин методом ХГДН обеспечивающих наибольшую прочность сцепления	14
Куценко П.А., Абзалилова А.В., Пириева Л.Ю. Исследование влияния защитных покрытий на высолообразование хризотилцементных изделий	16
Луняка А.Н., Вилисов Д.В., Фомченко И.А., Дубляженко К.И. Использование износостойких покрытий в работе газотурбинных двигателей	20
Подгорный Д.С., Прохоренков Д.С., Бондаренко Д.О. Способ кассетного исследования аншлифов покрытий....	23
Попова И.С. Переработка и утилизация отходов лакокрасочных материалов и покрытий ...	26
Простаков Н.С., Хрянин В.Н. Результаты исследований физико-механических свойств лакокрасочных покрытий, полученных с использованием материалов с различными дисперсными системами.....	29
Карманова М.Б., Сметанин А.К. Проблемы, связанные с нанесением лакокрасочного покрытия на воздушные суда снятые с эксплуатации, способы их решения.....	33
Искандаров М.Х., Пчельников А.В., Пичугин А.П., Туляганов А.К. Защитные покрытия для конструкций и оборудования, эксплуатируемых в условиях высоких коррозионных воздействий	38
Илясов А.П., Вагина Т.А., Пчельников А.В., Туляганов А.К. Наноструктурированные лакокрасочные покрытия с высокой термической устойчивостью....	43
Мамзин Н.В., Пчельников А.В., Пичугин А.П., Туляганов А.К. Неразрушающий контроль защитных покрытий на основе методов машинного обучения.....	47
Журавлев Я.В., Вагина Т.А., Пчельников А.В., Туляганов А.К. Инновационные решения в создании долговечных защитных покрытий.....	51

Научное издание

**ПРОМЫШЛЕННЫЕ ПОКРЫТИЯ.
АКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ**

Сборник трудов III Международной научно-практической конференции

Печатается в авторской редакции
Компьютерная верстка: А.В. Пчельников

Гарнитура Times New Roman, Формат 60×84 1/8
Объем 6,58 уч.-печ. л. 3,67 уч.-изд. л.

Отпечатано в издательстве НГАУ «Золотой колос»
630039, РФ, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, офис 106.
Тел. Факс (383) 267-09-10. E-mail: 2134539@mail.ru