

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Потапчика Александра Николаевича «ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ АНТИКОРРОЗИОННЫХ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – материаловедение (химическая промышленность)

### **Соответствие диссертации специальности и отрасли науки, по которым она представлена к защите**

Диссертация Потапчика А.Н. посвящена разработке электрохимического метода прогнозирования долговечности антикоррозионных лакокрасочных покрытий, эксплуатируемых при постоянном воздействии электролитов в широком диапазоне температур, в частности, установлению нового критерия оценки свойств покрытий, по величине которого можно судить об изолирующей способности и долговечности антикоррозионных лакокрасочных покрытий. Диссертация соответствует *паспорту специальности 05.16.09 – материаловедение (химическая промышленность)*, а именно следующим областям исследования: п. 4 (Создание материалов способных эксплуатироваться в экстремальных условиях: агрессивные среды, электрические и магнитные поля, повышенные температуры и механические нагрузки, вакуум и др.); п. 5 (Установление закономерностей и критериев оценки разрушения материалов от действия механических нагрузок и внешней среды); п. 9 (Разработка покрытий различного назначения (защитных, упрочняющих, декоративных, износостойких и др.) и методов управления их качеством); п. 10 (Развитие методов прогнозирования и оценка остаточного ресурса материалов в химической промышленности). В соответствии с паспортом указанной специальности диссертация соответствует *отрасли технических наук*.

### **Актуальность темы диссертации**

Для всех металлических конструкций наиболее простым и доступным способом антикоррозионной защиты металла является применение специальных полимерных и лакокрасочных покрытий. Оценить антикоррозионную эффективность и рассчитать долговечность лакокрасочных покрытий в конкретных условиях эксплуатации позволяют методы прогнозирования долговечности, основанные на проведении ускоренных циклических испытаний в камерах искусственной погоды, влаги и соляного тумана. Однако известные ускоренные методы прогнозирования долговечности покрытий не всегда эффективны, что зачастую обусловлено отсутствием достоверных критериев оценки, позволяющих зафиксировать изменение защитных свойств антикоррозионных лакокрасочных покрытий в процессе воздействия агрессивных факторов. Поэтому актуальной является разработка новых критериев оценки изолирующих свойств лакокрасочных покрытий,

необходимых для создания ускоренного метода прогнозирования их долговечности в условиях постоянного воздействия растворов электролитов. Актуальность тематики диссертации подтверждена соответствием перечню приоритетных направлений научных исследований Республики Беларусь на 2016–2020 гг. № 8 «Многофункциональные материалы и технологии», а также приоритетным направлениям научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 гг. № 2 «Биологические, медицинские, фармацевтические и химические технологии и производства», № 4 «Машиностроение, машиностроительные технологии, приборостроение и инновационные материалы». Востребованность результатов работы предприятиями реального сектора экономики РБ подтверждается выполнением научно-исследовательских работ в рамках ряда хозяйственных договоров.

### **Степень новизны результатов, полученных в диссертации, и научных положений, выносимых на защиту**

Автором предложен электрохимический метод прогнозирования долговечности антикоррозионных лакокрасочных покрытий, основанный на установлении кинетики изменения емкостно-частотного коэффициента до критической величины, учитывающий химическую природу и характер адгезионного взаимодействия лакокрасочных покрытий с защищаемой поверхностью и позволивший выбрать лакокрасочные материалы для длительной защиты стальных поверхностей химического оборудования в условиях воздействия агрессивных сред и повышенных температур. На мой взгляд, к числу наиболее важных научных результатов, характеризующихся новизной, можно отнести следующие:

1. Новый критерий оценки изолирующих свойств лакокрасочных покрытий различной толщины – емкостно-частотный коэффициент, рассчитываемый как произведение средневзвешенной емкости системы «стальная пластина с покрытием – электролит» и величины, характеризующей зависимость емкости от частоты переменного тока в диапазоне от 500 Гц до 2 МГц, который позволяет прогнозировать долговечность лакокрасочных покрытий, эксплуатируемых в жидких агрессивных средах.

2. Закономерности изменения емкостно-частотных коэффициентов антикоррозионных лакокрасочных покрытий под воздействием электролитов в диапазоне температур от 20°C до 107°C, позволившие определить критические величины емкостно-частотных коэффициентов для исследованных эпоксидных, полиуретановых, полиэфирных и эпоксиноволачных покрытий, достижение которых свидетельствует о протекании процесса коррозии под покрытием.

3. Предложенные составы пленкообразующей системы на основе эпоксидиановой смолы и наполнителей (железная слюдка, алюминиевая пудра, микротальк), установленные с применением емкостно-частотного коэффициента

и обеспечивающие покрытия на основе разработанного лакокрасочного материала высокие показатели физико-механических свойств и длительного срока службы (до 8 лет) в условиях воздействия воды и электролитов.

### **Обоснованность и достоверность основных результатов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Сформулированные в диссертационной работе научные выводы и практические рекомендации подтверждаются комплексным применением современных стандартизованных методов исследования технологических свойств ЛКМ, физико-механических и защитных свойств ЛКП, принятых в лакокрасочной отрасли. Эффективность разработанного метода прогнозирования долговечности антикоррозионных ЛКП подтверждена его успешной промышленной апробацией на ряде предприятий Беларуси, что свидетельствует *об обоснованности и достоверности* предложенного в работе емкостно-частотного коэффициента ЛКП и его критической величины, свидетельствующей об окончании срока службы антикоррозионного покрытия в связи с протеканием процесса подпленочной коррозии.

### **Научная, практическая, экономическая и социальная значимость результатов диссертации с указанием рекомендаций по их использованию**

*Научная значимость* результатов диссертационной работы Потапчика А.Н. заключается в разработке и обосновании емкостно-частотного метода как нового критерия оценки изолирующих свойств ЛКП толщиной до 3,5 мм.

*Практическая значимость* работы состоит в возможности прогнозирования долговечности антикоррозионных ЛКП и расчета срока их службы в условиях воздействия растворов электролитов в широком диапазоне температур. Практическая значимость подтверждена актами испытаний и внедрением результатов работы на ряде предприятий Беларуси.

*Экономическая и социальная значимость* заключается в разработке рецептур ЛКМ для антикоррозионных покрытий, применение которых позволит уменьшить потери от коррозии в технологическом оборудовании таких предприятий Беларуси, как ИООО «Славкалий», ООО «Пассатсталь», ООО «Мерлан К».

### **Опубликованность результатов диссертации в научной печати**

Основные результаты диссертационной работы Потапчика А.Н. в достаточной степени отражены в опубликованных автором 13 работах (в том числе 4 статьи из перечня ВАК Республики Беларусь, 2 статьи в других научных журналах и сборниках научных трудов, 5 материалов конференций и 2 тезиса докладов). Хочу отметить, что все публикации соискателя либо индивидуальные, либо в соавторстве только с научным руководителем.

### **Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК**

Диссертация Потапчика А.Н. является законченной научно-исследовательской работой, которая выполнена автором самостоятельно, а по

объему и содержанию соответствует требованиям п. п. 20, 24, 26 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь.

Диссертационная работа включает в себя общую характеристику, пять глав, заключение, список литературы и приложения. Объем диссертации составляет 228 стр., из них основной текст на 129 стр. (включая 37 рисунков и 42 таблицы), библиографический список (165 наименований) на 13 стр., приложения на 83 стр. Хочу отметить количество и качество приложений, которые содержат огромный фактический материал: от постановки образцов на испытание в производственных условиях до актов внедрения.

Диссертация оформлена в соответствии с требованиями ВАК, материал диссертации изложен логично, без существенных погрешностей, затрудняющих чтение рукописи. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

### **Замечания по диссертации и автореферату**

При рассмотрении диссертации и автореферата не выявлено принципиальных недостатков, которые могли бы вызвать сомнение в достоверности научных выводов и положений, вынесенных на защиту. Тем не менее имеется ряд замечаний, вопросов и предложений.

1) В литературных ссылках на патенты 80, 83–88, 141 даны неполные сведения. В соответствии с Приказом ВАК от 08.09.2016 № 206 «Правила оформления библиографического описания в списке диссертационных работ» в описание патента как минимум должно входить: название, № патента, авторы, дата публикации.

2) Выводы по гл. 1 Обзор с. (37). Все ссылки даны на свои публикации. Получается обзор своих работ?

3) Толстослойные ЛКП (до 3,5 мм). Видимо, это уже не покрытия, а листы. Например, толщина одного слоя эпоксидного покрытия достигает 50-400 мкм (электростатическим распылением, кистью, валиком). Толстые покрытия можно наносить только на горизонтальные поверхности только заливкой (например, покрытия на полы). Каким методом наносили покрытия, в работе не сказано. Указано лишь, что «покрытия формировали в соответствии с рекомендациями производителей лакокрасочных материалов» (с. 59).

4) Неадгезированные: участки (с. 14), пленки (с. 46, 94). Это «свободные пленки» (см. с. 46). Аналогично: прочноадгезированные ЛКП, лучше «высокоадгезионные покрытия», а еще лучше – покрытия с высокой адгезией.

5) Определение адгезии (с. 45): методом решетчатых надрезов, в баллах (для покрытий толщиной до 200 мкм), и методом отрыва, МПа (для толстых покрытий). Какое соответствие между баллами и МПа?

6) Под рис. 3.1 (с. 60) приведена подпись: Зависимость сопротивления  $R$  и емкости  $C$  покрытий от толщины и состава. Однако на графике зависимость только от толщины. Кроме того, сравнение значений  $R$  и  $C$  на рис. 3.1 и 3.2

свидетельствует о значительном расхождении этих показателей. Например,  $R$  на рис. 3.1,  $a$  изменяется в интервале  $10^5$ – $10^7$  Ом, а на рис. 3.2,  $a$  – в интервале  $2 \cdot 10^4$ – $2 \cdot 10^5$  Ом (в одном и том же диапазоне толщин). Еще большее отличие в значениях емкости  $C$  на рис. 3.1,  $b$  и 3.2,  $a$ .

7) На рис. 3.3 (с. 62) приведены зависимости  $R$  и  $C$  пигментированных полиэфирных покрытий от частоты переменного тока, однако не указано, какие пигменты использованы в качестве наполнителей (или все три вместе?).

8) Уменьшение величины емкостно-частотного коэффициента  $K_{F,C}$  эпоксидных покрытий на первой стадии экспонирования (27 часов) при  $T = 75$  °С (рис. 3.11, с. 73) автор объясняет «увеличением содержания гель-фракции вследствие протекающих процессов доотверждения эпоксидной смолы при повышении температуры» (с. 74), и это логичное объяснение. При температурах 90 и 107 °С эта стадия не наблюдалась, но думаю не потому, что ее не было. Если первое измерение коэффициента  $K_{F,C}$  произвести по времени раньше 27 часов экспонирования, то возможно было бы наблюдать его уменьшение и при этих повышенных температурах.

9) В табл. 3.7 (с. 84) наблюдается явный выброс значения прогнозируемой долговечности для покрытий ЭП10 (почти 1,5 млн ч), превышающей на 3–4 порядка соответствующие значения для других покрытий. Чем это объяснить?

10) В табл. 4.4 (с. 94) представлены деформационно-прочностные свойства различных полимерных пленок. Во-первых, не указана толщина пленок (а от нее очень сильно зависят показатели этих свойств). Во-вторых, разрушающее напряжение при растяжении отвержденных эпоксидных смол составляет 40–90 МПа, что значительно больше, чем у образца Д (16–17 МПа).

11) Сравнение рис. 5.1,  $b$  (с. 108) и рис. 3.5 (с. 65) указывает на несоответствие в частотных зависимостях емкости эпоксидных покрытий: одно и то же эпоксидное покрытие (KER 215), одинаковый раствор (NaCl), одно время экспозиции (168 ч), но зависимость  $C(F)$  меняется в интервале  $10^{-8}$ – $10^{-10}$  Ф (рис. 3.5, кривая 5) и  $10^{-4}$ – $10^{-6}$  Ф (рис. 5.1,  $b$ , кривые 9, 10). Чем объяснить такое расхождение?

Однако указанные недостатки не ставят под сомнение научную и практическую значимость диссертационной работы Потапчика А.Н.

### **Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует**

Изложенный в диссертации материал, а также опубликованные печатные работы свидетельствуют о способности соискателя к творческой научно-исследовательской работе – от постановки задач до практического использования полученных результатов, что в итоге позволило ему внести существенный вклад в развитие одного из актуальных направлений научных исследований в области материаловедения (химическая промышленность) – разработке методов прогнозирования долговечности антикоррозионных

лакокрасочных покрытий, эксплуатируемых при постоянном воздействии электролитов в широком диапазоне температур. Это дает основание считать, что научная квалификация соискателя в полной мере соответствует ученой степени кандидата технических наук по специальности «Материаловедение (химическая промышленность)».

Предлагаю присудить Потапчику А.Н. ученую степень кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – материаловедение (химическая промышленность) за новые научно обоснованные результаты по комплексному исследованию процессов антикоррозионной защиты металлов полимерными покрытиями, включающие:

– разработку нового критерия оценки изолирующих свойств лакокрасочных покрытий различной толщины, а именно – емкостно-частотного коэффициента, который рассчитывается как произведение средневзвешенной емкости системы «стальная пластина с покрытием – электролит» и величины, характеризующей зависимость емкости от частоты переменного тока в диапазоне от 500 Гц до 2 МГц, и который позволяет прогнозировать долговечность лакокрасочных покрытий, эксплуатируемых в жидких агрессивных средах;

– установление закономерностей изменения емкостно-частотных коэффициентов антикоррозионных лакокрасочных покрытий под воздействием электролитов в диапазоне температур от 20°C до 107°C, которые позволили определить критические величины этих коэффициентов для исследованных эпоксидных, полиуретановых, полиэфирных и эпоксисиловолачных покрытий, достижение которых свидетельствует о протекании процесса коррозии под покрытием,

**что в совокупности** позволило соискателю разработать составы пленкообразующей системы на основе эпоксидиановой смолы и наполнителей (железная слюдка, алюминиевая пудра, микротальк), обеспечивающие покрытиям на основе разработанного лакокрасочного материала высокие показатели физико-механических свойств и длительного срока службы (до 8 лет) в условиях воздействия воды и электролитов.

Профессор кафедры радиофизики и электроники  
УО «Гомельский государственный университет  
имени Ф. Скорины», академик Российской  
академии естествознания, д.т.н., профессор



В.А. Гольдаде

Подпись В.А. Гольдаде удостоверяю:



*В.А. Гольдаде*  
14.12.2022