

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Объект авторского права

УДК 620.169.1:667.6

ПОТАПЧИК
Александр Николаевич

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
ДОЛГОВЕЧНОСТИ АНТИКОРРОЗИОННЫХ
ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности
05.16.09 – материаловедение (химическая промышленность)

Минск 2022

Научная работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет».

Научный руководитель **Егорова Анна Леонидовна**,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры полимерных композиционных материалов учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет»

Официальные оппоненты: **Гольдаде Виктор Антонович**,
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры радиофизики и электроники учреждения образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»;

Матыс Владимир Генрихович,
кандидат химических наук, доцент кафедры химии, технологии электрохимических производств и материалов электронной техники учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет»

Оппонирующая организация Учреждение образования «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы»

Защита состоится «23» декабря 2022 г. в 12.00 ч на заседании совета по защите диссертаций Д 02.08.04 при учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет» по адресу: 220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, ауд. 240, корп. 4.

E-mail: spak_s@belstu.by, тел.: 8-(017)-374-80-46.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет».

Автореферат разослан «21» ноября 2022 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций



С. И. Шпак

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение длительной антикоррозионной защиты металлических изделий, конструкций и аппаратов, как одного из необходимых условий эффективной экономической деятельности предприятий, часто осуществляется с использованием лакокрасочных материалов. Потребители на этапе выбора и производители в процессе разработки рецептур лакокрасочных материалов и их изготовления используют методы, позволяющие оценить антикоррозионную эффективность и рассчитать долговечность (срок службы) лакокрасочных покрытий в конкретных условиях эксплуатации.

В настоящее время для покрытий, предназначенных для применения в различных климатических условиях, активно используются методы прогнозирования долговечности, основанные на проведении ускоренных циклических испытаний в камерах искусственной погоды, влаги и соляного тумана. Защитные свойства лакокрасочных покрытий в таких методах оцениваются преимущественно по сохранности их внешнего вида. В то же время немалый объем лакокрасочных материалов используется для защиты внутренних поверхностей аппаратов, трубопроводов и иных металлических изделий, условия эксплуатации которых характеризуются постоянным контактом с растворами электролитов и могут дополняться воздействием повышенных температур. Известные ускоренные методы прогнозирования долговечности покрытий в таких условиях эксплуатации неэффективны, что во многом обусловлено отсутствием достоверных критериев оценки, позволяющих зафиксировать изменение защитных свойств антикоррозионных лакокрасочных покрытий в процессе воздействия агрессивных факторов.

Таким образом, разработка нового критерия оценки изолирующих свойств лакокрасочных покрытий необходима для создания ускоренного метода прогнозирования их долговечности в условиях постоянного воздействия растворов электролитов. Помимо этого, применение такого критерия оценки упростит создание рецептур высокоэффективных антикоррозионных лакокрасочных материалов.

Коррозионные процессы при контакте с электролитами протекают преимущественно по электрохимическому механизму, поэтому разработка метода оценки защитных свойств и прогнозирования долговечности лакокрасочных покрытий видится перспективной на основе исследования их электрохимических свойств.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами (проектами), темами. Диссертационная работа выполнена на кафедре полимерных композиционных материалов учреждения образования «Белорусский государственный технологи-

ческий университет» в рамках государственной программы научных исследований «Механика, металлургия, диагностика в машиностроении», подпрограммы «Гальванотехника», задания 4.2.32 «Разработка защитных составов двухупаковочных эпоксидных лакокрасочных материалов для покрытий металлов, обладающих улучшенными антикоррозионными свойствами, и технологий их получения» (ГР № 20192317, 2019–2020 гг.), государственной программы научных исследований «Материаловедение, новые материалы и технологии», подпрограммы «Многофункциональные и композиционные материалы», НИР 3 «Разработка научных и технологических принципов получения антикоррозионных лакокрасочных покрытий с повышенной изолирующей способностью в электролитах» (ГР № 20211767, 2021–2022 гг.).

Тематика диссертационной работы соответствует 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».

Результаты диссертационной работы использованы при выполнении следующих научно-исследовательских работ: ХД 18-428 «Исследование коррозионно-абразивной стойкости и долговечности полимерных покрытий аппаратов при переработке сильвинитовой руды на ИООО «Славкалий» (ГР № 20181715); ХД 20-099 «Оценка защитных свойств полимерных покрытий, эксплуатируемых в солевых растворах»; ХД 20-580 «Оценка коррозионной стойкости полимерных покрытий в эмульсии сырой нефти и водной фазы»; ХД 22-360 «Исследование антикоррозионных свойств и прогнозирование сроков службы лакокрасочных материалов в условиях работы трубопроводов тепловых сетей».

Цель и задачи исследования.

Цель исследования – разработать электрохимический метод прогнозирования долговечности антикоррозионных лакокрасочных покрытий, эксплуатируемых при постоянном воздействии электролитов в широком диапазоне температур.

Для достижения поставленной цели определены следующие *задачи*:

– разработать новый критерий оценки, учитывающий электрохимические свойства системы «окрашенная стальная пластина – электролит», по величине которого можно судить об изолирующих свойствах антикоррозионных лакокрасочных покрытий;

– установить закономерности изменения нового критерия оценки (емкостно-частотного коэффициента) под воздействием растворов электролитов

в широком диапазоне температур и определить его критические величины для исследуемых антикоррозионных лакокрасочных покрытий различной химической природы, соответствующие окончанию их срока службы из-за развития подпленочной коррозии;

– разработать метод прогнозирования долговечности антикоррозионных лакокрасочных покрытий, эксплуатируемых при постоянном воздействии электролитов в широком диапазоне температур, и провести его промышленную апробацию в условиях работы аппаратов переработки калийной руды;

– проверить применимость емкостно-частотного коэффициента и метода прогнозирования долговечности при разработке рецептуры нового антикоррозионного лакокрасочного материала.

Объект исследования – лакокрасочные материалы на основе эпоксидных, полиэфирных, полиуретановых, эпоксисиловолачных пленкообразующих систем и покрытия на их основе; эпоксидные смолы, аминные отвердители, пигменты и наполнители с пластинчатой формой частиц.

Предмет исследования – электрохимические свойства систем «окрашенная стальная пластина – электролит», технологические свойства лакокрасочных материалов, физико-механические и защитные свойства лакокрасочных покрытий в зависимости от состава лакокрасочного материала и продолжительности воздействия растворов электролитов в широком диапазоне температур.

Научная новизна. В широком диапазоне частот переменного тока (от 500 до 2 000 000 Гц) установлены закономерности изменения емкости систем «окрашенная стальная пластина – электролит», которые легли в основу нового численного критерия оценки изолирующих свойств антикоррозионных лакокрасочных покрытий – емкостно-частотного коэффициента, что позволило повысить эффективность исследований защитных свойств даже толсто-слойных (до 3500 мкм) лакокрасочных покрытий и разработать метод прогнозирования их долговечности.

Продемонстрирован подход целенаправленного регулирования уровня защитных свойств покрытий при разработке рецептур антикоррозионных лакокрасочных материалов: с помощью емкостно-частотного коэффициента обоснован качественный и количественный состав лакокрасочного материала, обеспечивающий формирование покрытий с наибольшей долговечностью в жидких агрессивных средах.

Положения, выносимые на защиту.

1. Новый критерий оценки изолирующих свойств лакокрасочных покрытий толщиной до 3500 мкм – емкостно-частотный коэффициент, рассчитываемый как произведение средневзвешенной емкости системы «окрашенная стальная пластина – электролит» и величины, характеризующей зависимость емкости от частоты переменного тока в диапазоне от 500 до 2 000 000 Гц, позволяющий

прогнозировать долговечность лакокрасочных покрытий, эксплуатируемых в жидких агрессивных средах.

2. Закономерности изменения емкостно-частотных коэффициентов антикоррозионных лакокрасочных покрытий под воздействием электролитов (вода, водные растворы, содержащие по 6–14 мас. % KCl и NaCl) в диапазоне температур от 20°C до температур кипения (100–107°C), позволившие определить критические величины емкостно-частотных коэффициентов для исследованных эпоксидных ($5 \cdot 10^{-3}$ Ф), полиуретановых ($1 \cdot 10^{-4}$ Ф), полиэфирных ($5 \cdot 10^{-2}$ Ф), эпоксисилоклатных ($1 \cdot 10^{-4}$ Ф) покрытий, достижение которых свидетельствует о протекании нежелательного процесса подпленочной коррозии.

3. 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 окрашенной поверхностью и позволивший выбрать лакокрасочные материалы для длительной (не менее 13 лет) защиты стальных поверхностей оборудования в условиях переработки калийных руд (95–107°C, насыщенный водный раствор NaCl и KCl).

4. Составы пленкообразующей системы (эпоксидиановая смола с содержанием 4,88 ммоль/г эпоксидных групп и отвердитель изофорондиамин с содержанием 5,22 ммоль/г аминных групп в массовом соотношении 1,57:1) и пигментной части (железная слюдка – 39,70 об. %, алюминиевая пудра – 33,20 об. %, микротальк – 27,10 об. %), их соотношение (коэффициент лакокрасочной системы – 0,6), установленные с применением емкостно-частотного коэффициента и обеспечивающие покрытия на основе разработанного эпоксидного лакокрасочного материала высокие показатели: твердость – 0,37 отн. ед., адгезия – 4,5 МПа, срок службы в условиях постоянного воздействия воды, 3 и 9 мас. % растворов NaCl – более 8 лет.

Личный вклад соискателя ученой степени. Выбор направления исследований, формулировка цели и задач, обсуждение основных научных результатов работы проводились совместно с научным руководителем. Соискатель проанализировал современное состояние проблемы прогнозирования долговечности лакокрасочных покрытий. Провел экспериментальные исследования, выполнил их статистическую обработку и анализ, на основании чего обосновал применение и предложил методику расчета емкостно-частотного коэффициента в качестве нового критерия оценки изолирующих свойств лакокрасочных покрытий. Установил закономерности изменения емкостно-частотного коэффициента под воздействием электролитов и разработал метод прогнозирования долговечности лакокрасочных покрытий. Получил экспериментальные данные по применению емкостно-частотного коэффициента при

разработке рецептуры эпоксидного лакокрасочного материала. Принимал непосредственное участие в организации и проведении промышленной апробации метода прогнозирования долговечности лакокрасочных покрытий на ОАО «Беларуськалий».

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов. Результаты исследований представлены и обсуждены на 83, 84, 85-й научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (Минск, 2019, 2020, 2021 гг.), Всероссийской научной конференции (с международным участием) преподавателей и студентов вузов «Актуальные проблемы науки о полимерах» (Казань, 2020 г.), VI Республиканской научно-технической конференции молодых ученых «Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования» (Гомель, 2020 г.).

Опубликованность результатов диссертации. По результатам выполненных исследований опубликовано 13 работ (6,7 авторских листов), в том числе 4 статьи в изданиях, включенных в перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований (4,3 авторских листа), 2 статьи в других научных журналах и сборниках научных трудов (1,6 авторского листа), 5 материалов конференций и 2 тезиса докладов. Подана 1 заявка на выдачу патента на изобретение.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из перечня сокращений и обозначений, введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, списка использованных источников из 179 наименований (включая 13 собственных публикаций и 1 заявку на патент) на 15 страницах и 15 приложений. Основные структурные элементы диссертации изложены на 144 страницах (включая 37 рисунков и 42 таблицы), объем приложений составляет 84 страницы.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В первой главе представлен анализ современного состояния проблемы прогнозирования долговечности и оценки защитных свойств антикоррозионных лакокрасочных покрытий. Согласно современным подходам, адгезированная лакокрасочная пленка на металлическом субстрате в контакте с электролитом рассматривается как электрохимическая система, описываемая различными параметрами (например, сопротивлением, емкостью, поляризационными характеристиками, стационарным потенциалом), что позволяет электрохимическими методами исследовать защитные свойства покрытий и процессы коррозии, протекающие под ними.

Методы расчета срока службы антикоррозионных лакокрасочных покрытий, эксплуатируемых в условиях постоянного воздействия растворов электролитов, представлены в ограниченном количестве, а существующие электрохимические методы обладают рядом недостатков: ограниченный частотный диапазон измерений, а в некоторых случаях вовсе отсутствует обоснование критической величины характеристического показателя, что затрудняет исследование современных покрытий, толщина которых нередко достигает 2000–3500 мкм.

Во второй главе приведено описание объектов и методов исследований.

Объектами исследований выступали лакокрасочные материалы (Carboline, Corrocoat, Hempel, International Paint, Teknos, Пассатсталь и др.) на основе эпоксидных, полиэфирных, полиуретановых, эпоксисовлачных пленкообразующих систем и покрытия на их основе, сформированные на стали марки 08 кп; эпоксидные смолы, аминные отвердители (полиэтиленполиамин, тетраэтиленпентамин, изофорондиамин, полиамидная смола Э-45), пигменты и наполнители с пластинчатой формой частиц (железная слюдка, алюминиевая пудра, микротальк).

Технологические свойства лакокрасочных материалов (степень и время высыхания, степень перетира, массовая доля нелетучих веществ), физико-механические (твердость по маятниковому прибору, прочность при ударе, адгезия методом решетчатых надрезов, адгезия методом отрыва, прочность при разрыве, относительное удлинение) и защитные (стойкость к статическому воздействию агрессивных сред) свойства лакокрасочных покрытий определяли по принятым в лакокрасочной отрасли стандартизированным методам.

Антикоррозионные свойства лакокрасочных покрытий оценивали по характеру изменения емкости и сопротивления систем «окрашенная стальная пластина – электролит» в частотном диапазоне от 500 до 3 200 000 Гц (определяемых с применением осциллографа ВК 2540С по $I-V$ методу) и величине потенциала разомкнутой цепи, измеряемой относительно хлорсеребряного электрода сравнения с использованием потенциостата-гальваностата Р-2Х.

Обработку экспериментальных данных проводили с помощью следующего программного обеспечения: MS Excel, Mathcad, SciDAVis, Statgraphics Centurion. При проведении испытаний количество параллельных определений и допустимую погрешность принимали с учетом требований существующих стандартов на соответствующее испытание. В иных случаях в качестве оценки изучаемого показателя использовали среднее арифметическое, при этом статистическая обработка включала расчет доверительных границ погрешности измерений.

Для оценки статистической значимости эффекта от воздействия фактора применяли критерий Стьюдента (t -критерий) для зависимых и независимых выборок, принимая α -уровень значимости равным 0,05. Точность аппроксимации экспериментальных данных оценивали по величинам коэффициента детерминации (R^2) и достигаемого уровня значимости (p -критерия).

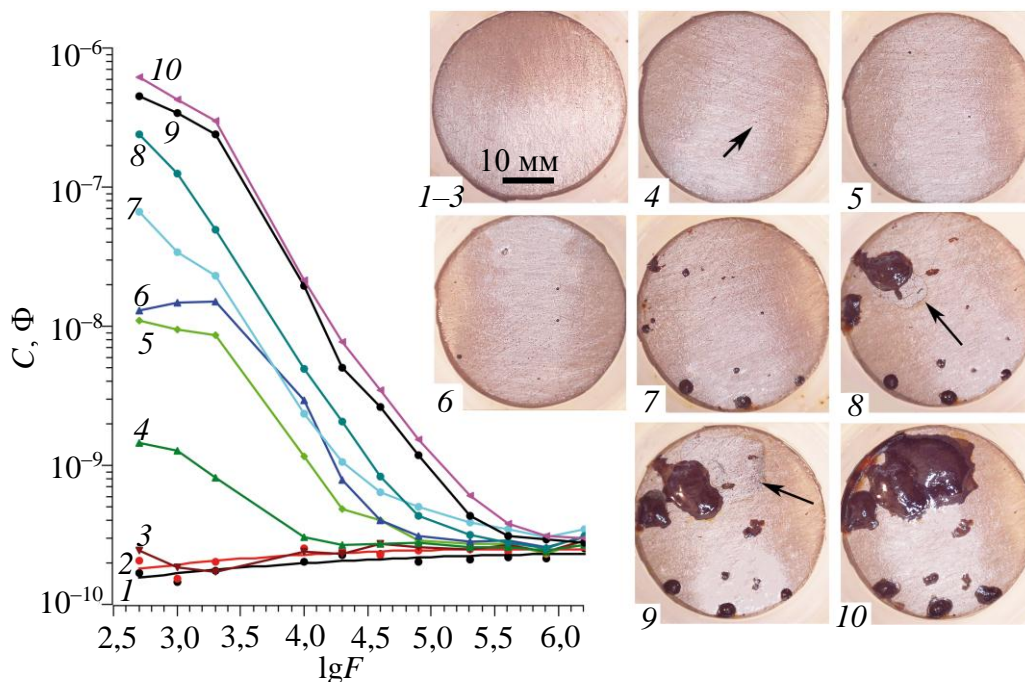
В третьей главе на основе совокупности результатов исследований 25 промышленно производимых антикоррозионных лакокрасочных материалов предложен новый критерий оценки изолирующих свойств лакокрасочных покрытий (емкостно-частотный коэффициент), что позволило разработать метод прогнозирования долговечности лакокрасочных покрытий, эксплуатируемых при постоянном воздействии электролитов в широком диапазоне температур.

В результате анализа частотных зависимостей емкости и сопротивления систем «окрашенная стальная пластина – электролит» в диапазоне частот переменного тока от 500 до 3 200 000 Гц установлено, что емкость является более информативным показателем, характеризующим изолирующие свойства лакокрасочных покрытий. Суммарная емкость покрытия складывается из электрической и электрохимической составляющих, характеризующихся различной частотной зависимостью (электрическая не зависит, а электрохимическая зависит от частоты переменного тока). Если покрытие недостаточно сплошное, вклад электрохимической составляющей увеличивается, что позволяет по изменению характера частотной зависимости емкости оценить изолирующие свойства покрытия и зафиксировать деструкционные процессы, происходящие в нем под воздействием электролита.

Взаимосвязь между изменением характера частотной зависимости емкости и протеканием процесса подпленочной коррозии наглядно продемонстрирована на примере непигментированных покрытий, экспонируемых в 3 мас. % водном растворе NaCl при комнатной температуре. Суть испытаний заключалась в измерении емкости системы «окрашенная стальная пластина – электролит» и одновременном фиксировании состояния поверхности стали под покрытием (рисунок 1).

Первый визуально различимый очаг подпленочной коррозии появляется спустя 96 ч воздействия электролита, что сопровождается увеличением емкости покрытия при частотах переменного тока 500–2000 Гц ($\lg F$ равен 2,699–3,301) примерно в 10 раз (фото 4 и кривая 4 на рисунке 1). Дальнейшее воздействие раствора NaCl приводит к возникновению новых и увеличению площади уже существующих коррозионных очагов.

Развитие коррозионных процессов сопровождается изменением частотной зависимости емкости: на начальных этапах экспонирования емкость покрытия мало зависит от частоты тока, что графически изображается в виде линии, практически параллельной оси абсцисс. Дальнейшее воздействие агрессивной среды приводит к увеличению емкости сначала в области малых частот, а затем и при более высоких частотах переменного тока. Установлено, что величины емкости покрытий в начале испытания и после развития подпленочной коррозии не отличимы при частотах переменного тока более 2 000 000 Гц, что обуславливает выбор верхней границы частотного диапазона для дальнейших исследований.



1 – 1 ч; 2 – 24 ч; 3 – 71 ч; 4 – 96 ч; 5 – 168 ч; 6 – 239 ч; 7 – 641 ч; 8 – 1495 ч;
9 – 2239 ч; 10 – 3175 ч

Рисунок 1 – Зависимости емкости непигментированного эпоксидного покрытия от частоты переменного тока и состояние окрашенной поверхности после различной продолжительности воздействия 3 мас. % раствора NaCl

Частотные зависимости емкости в графической либо табличной (как массив данных) формах не всегда являются удобным способом представления информации об антикоррозионных свойствах лакокрасочного покрытия, что особенно актуально при длительных испытаниях в агрессивных средах нескольких материалов. С другой стороны, частотные зависимости емкости сами по себе не позволяют рассчитать срок службы лакокрасочного покрытия. Поэтому нами предложен емкостно-частотный коэффициент как новый критерий оценки изолирующих свойств лакокрасочных покрытий, рассчитываемый по величинам емкости системы «окрашенная стальная пластина – электролит» в частотном диапазоне от 500 до 2 000 000 Гц:

$$K_{F,C} = \bar{C} \cdot \left(\sum_{i=1}^N \frac{C_i}{C_{\min}} \right) / N, \quad (1)$$

где \bar{C} – средневзвешенная величина емкости системы «окрашенная стальная пластина – электролит», Ф;

N – количество измерений: $N = 12$, что соответствует частотам переменного тока 500, 1000, 2000, 10 000, 20 000, 40 000, 80 000, 200 000, 400 000, 800 000, 1 600 000 и 2 000 000 Гц;

C_i – величина емкости окрашенной стальной пластины при частоте переменного тока F_i , Ф;

C_{\min} – минимальная величина емкости, наблюдаемая в исследуемом частотном диапазоне, Ф.

Средневзвешенная величина емкости рассчитывается с учетом коэффициентов весомости k_i по формуле

$$\bar{C} = \left(\sum_{i=1}^N k_i \cdot C_i \right) / N. \quad (2)$$

Коэффициенты весомости в свою очередь определяются по формуле

$$k_i = \frac{\lg F_N}{\lg F_i}, \quad (3)$$

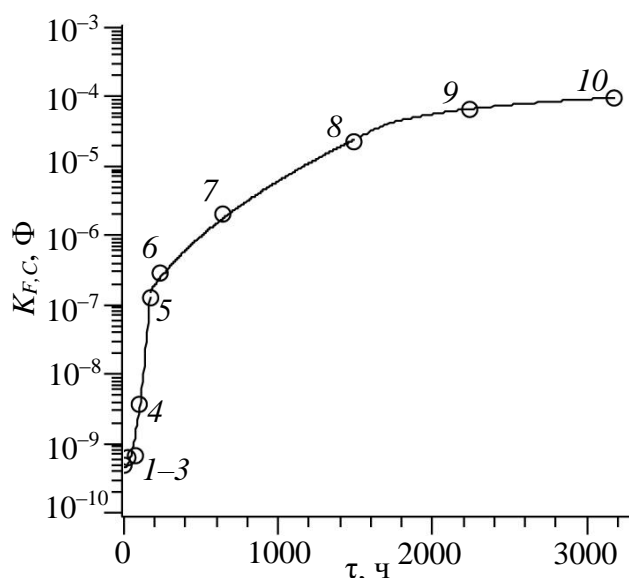
где F_N – верхний предел частотного диапазона измерений (2 000 000 Гц), Гц;

F_i – величина частоты переменного тока, при которой проводилось измерение емкости C_i , Гц.

Емкостно-частотный коэффициент может служить характеристическим показателем при оценке изолирующих свойств лакокрасочных покрытий и прогнозировании их долговечности в жидких электропроводящих средах (растворы солей, кислот, щелочей). Применение емкостно-частотного коэффициента упрощает представление, анализ и сравнение уровня защитных свойств лакокрасочных покрытий и его изменения в зависимости от состава лакокрасочного материала и продолжительности воздействия жидких агрессивных сред. Так, с помощью емкостно-частотного коэффициента данные на рисунке 1 могут быть представлены в более удобной для анализа форме, при которой кривым на рисунке 1 соответствуют точки на рисунке 2.

Закономерности изменения величины $K_{F,C}$ под воздействием эксплуатационных факторов установлены в результате исследований эпоксидных, эпоксисилово-волоконных, полиэфирных и полиуретановых покрытий при экспонировании их в воде и растворах, содержащих смесь 6 мас. % NaCl и 6 мас. % KCl, смесь 14 мас. % NaCl и 14 мас. % KCl, в диапазоне температур от комнатной до температур кипения.

В общем случае на графической зависимости $K_{F,C}$ от продолжительности воздействия растворов электролитов можно выделить три стадии (рисунок 3):



Точки 1–10 соответствуют кривым на рисунке 1

Рисунок 2 – Зависимость емкостно-частотного коэффициента от продолжительности экспонирования

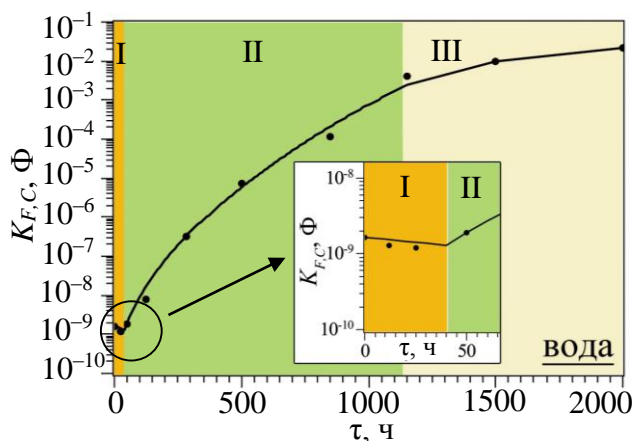


Рисунок 3 – Зависимость емкостно-частотного коэффициента эпоксидного покрытия от продолжительности экспонирования в воде при 75°C

I) первоначальное *уменьшение* величины емкостно-частотного коэффициента. Наличие данной стадии характерно не для всех покрытий и зависит от условий экспонирования, возможности протекания процессов доотверждения пленкообразующей системы при повышенных температурах;

II) *активный рост* емкостно-частотного коэффициента. На данной стадии происходит возрастание емкостно-частотного коэффициента с максимальной скоростью;

III) *стабилизация* емкостно-частотного коэффициента. Стадия характеризуется медленным возрастанием или отсутствием роста емкостно-частотного коэффициента при протекании процесса подпленочной коррозии.

Величина $K_{F,C}$ в конце стадии активного роста является *критической* ($K_{F,C}^{кр}$), т. к. ее достижение рассматривается как критерий «отказа» антикоррозионного лакокрасочного покрытия по причине протекания процесса подпленочной коррозии.

Наибольшее влияние на критическую величину $K_{F,C}$ оказывают особенности адгезионного взаимодействия лакокрасочной пленки и окрашиваемой поверхности (во многом определяемые природой пленкообразующей системы): покрытия с когезионным типом разрушения утрачивают защитные свойства при больших величинах $K_{F,C}$. Агрессивность эксплуатационных факторов влияет не на саму критическую величину емкостно-частотного коэффициента, а на скорость ее достижения.

В результате исследований определены критические величины емкостно-частотных коэффициентов для исследуемых покрытий на основе эпоксидной ($5 \cdot 10^{-3}$ Ф), полиэфирной ($5 \cdot 10^{-2}$ Ф), эпоксиноволачной ($1 \cdot 10^{-4}$ Ф) и полиуретановой ($1 \cdot 10^{-4}$ Ф) пленкообразующих систем, которые могут быть использованы при расчете срока службы любых покрытий с соответствующей природой пленкообразующего вещества при условии схожести характера их адгезионного взаимодействия с окрашиваемой поверхностью и механизма утраты защитных свойств.

Установлено, что изменение величины емкостно-частотного коэффициента от продолжительности экспонирования (τ , ч) на стадии активного роста подчиняется уравнению вида

$$K_{F,C} = K_{F,C}^0 \cdot e^{b \cdot \tau^n}, \quad (4)$$

где $K_{F,C}^0$ – величина емкостно-частотного коэффициента в начале стадии активного роста, Ф;

b (ч^{-n}) и n – коэффициенты, зависящие от агрессивности воздействия эксплуатационных факторов и устойчивости покрытия к нему.

При замене емкостно-частотного коэффициента $K_{F,C}$ в уравнении (4) на критический емкостно-частотный коэффициент $K_{F,C}^{\text{кр}}$ продолжительность воздействия эксплуатационных условий τ может рассматриваться как расчетный срок службы покрытия (τ_p , ч)

$$\tau_p = \left(\frac{\ln K_{F,C}^{\text{кр}} - \ln K_{F,C}^0}{b} \right)^{\frac{1}{n}}. \quad (5)$$

Таким образом, разработанный метод прогнозирования долговечности лакокрасочных покрытий состоит из следующих этапов:

1) измерение емкости системы «окрашенная стальная пластина – электролит» в интервале частот переменного тока 500–2 000 000 Гц и расчет емкостно-частотного коэффициента в начале стадии его активного роста ($K_{F,C}^0$, Ф);

2) экспонирование окрашенных стальных пластин в агрессивной среде в течение не менее 3 временных интервалов до увеличения емкостно-частотного коэффициента не менее чем в 5 раз и расчет величин емкостно-частотных коэффициентов по истечении каждого интервала;

3) расчет коэффициентов b , n , входящих в формулы (4) и (5);

4) расчет срока службы покрытия по формуле (5).

В четвертой главе представлены результаты промышленной апробации метода прогнозирования долговечности лакокрасочных покрытий в условиях работы аппаратов переработки калийных руд на ОАО «Беларуськалий».

Исследования проводились на лакокрасочных покрытиях различной химической природы (эпоксисинволачной – покрытия А и В, полиэфирной – покрытия Б и Г, эпоксидной – покрытие Д) от ведущих мировых производителей (International Paint, Carboline, Corrocoat, Teknos, Пассатсталь). Лабораторное экспонирование покрытий осуществляли при температуре 95–107°C в насыщенном водном растворе солей (преимущественно KCl и NaCl в суммарном количестве до 38 мас. %), полученном растворением калийной руды, что соответствует промышленным условиям экспонирования при размещении окрашенных стальных пластин в переливном желобе сгустителя типа «Брандес».

По результатам лабораторных испытаний в течение 1500 ч удалось получить объективные данные о кинетике изменения величин емкостно-частотных коэффициентов и с достаточной точностью рассчитать срок службы лакокрасочных покрытий в реальных условиях работы аппаратов (рисунок 4), что подтверждается длительными промышленными испытаниями (8425 ч).

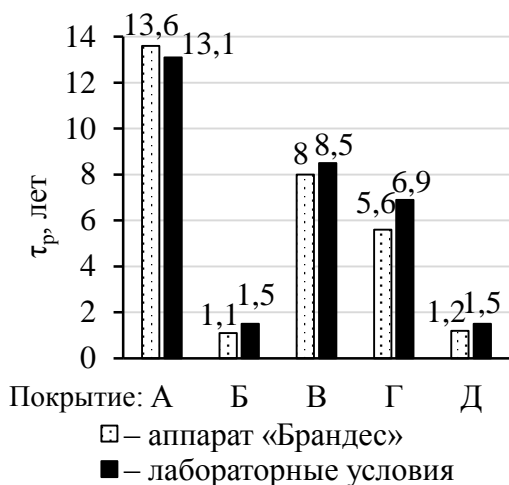


Рисунок 4 – Сроки службы покрытий по результатам лабораторных и промышленных испытаний

Практическая ценность проведенных исследований заключается в выборе наиболее долговечных покрытий для защиты внутренних поверхностей основного технологического оборудования линии переработки калийных руд на ОАО «Беларуськалий» (сгустителей «Брандес», «Дорр», шнековой мешалки) от коррозионного разрушения. Наибольшей долговечностью обладают эпоксиноволачные покрытия А (Enviroline 405HTR производства International Paint): при погружении в сгустителе «Брандес» – 13,6 лет, при погружении в шнековом растворителе – 4,6 года, в паровоздушной фазе сгустителя «Дорр» – 22,4 года.

В пятой главе на примере разработки рецептуры антикоррозионного эпоксидного лакокрасочного материала продемонстрировано, что применение емкостно-частотного коэффициента позволяет в короткие сроки обосновывать качественный и количественный состав пленкообразующей системы и пигментной части для получения покрытий с высокой изолирующей способностью в электролитах.

Исследования проводились на эпоксидиановых смолах с различным содержанием эпоксидных групп (CHS Epoxy 210, Э41, KER 215). В качестве отвердителей использовали стехиометрическое количество следующих соединений с аминными группами: полиэтиленполиамин (ПЭПА), тетраэтиленпентамин (ТЭПА), раствор полиамидной смолы (Э-45) и изофорондиамин (КСА 4103).

Емкостно-частотный коэффициент является критерием оценки изолирующих свойств лакокрасочных покрытий: чем меньше величина $K_{F,C}$, тем лучше изолирующая способность покрытия. Поэтому представляется возможным выполнить сравнительный анализ исследуемых непигментированных эпоксидных покрытий (рисунок 5).

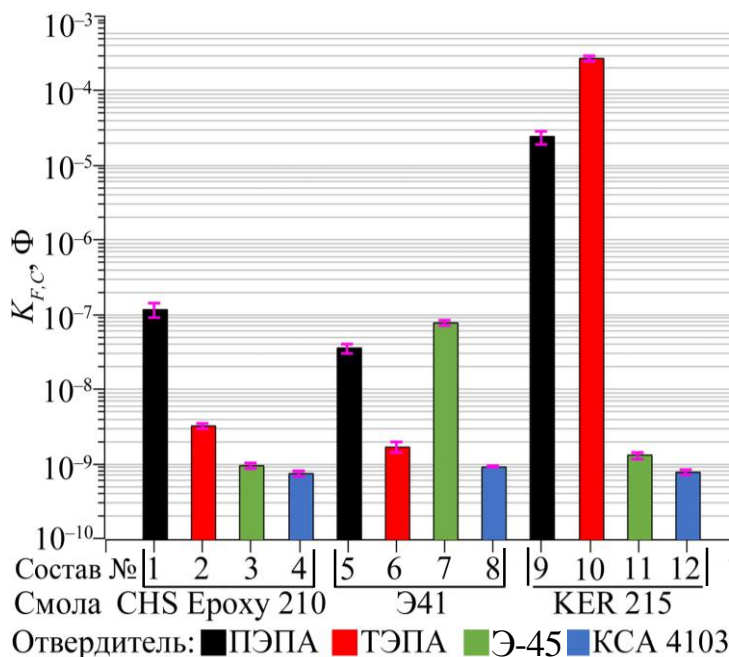
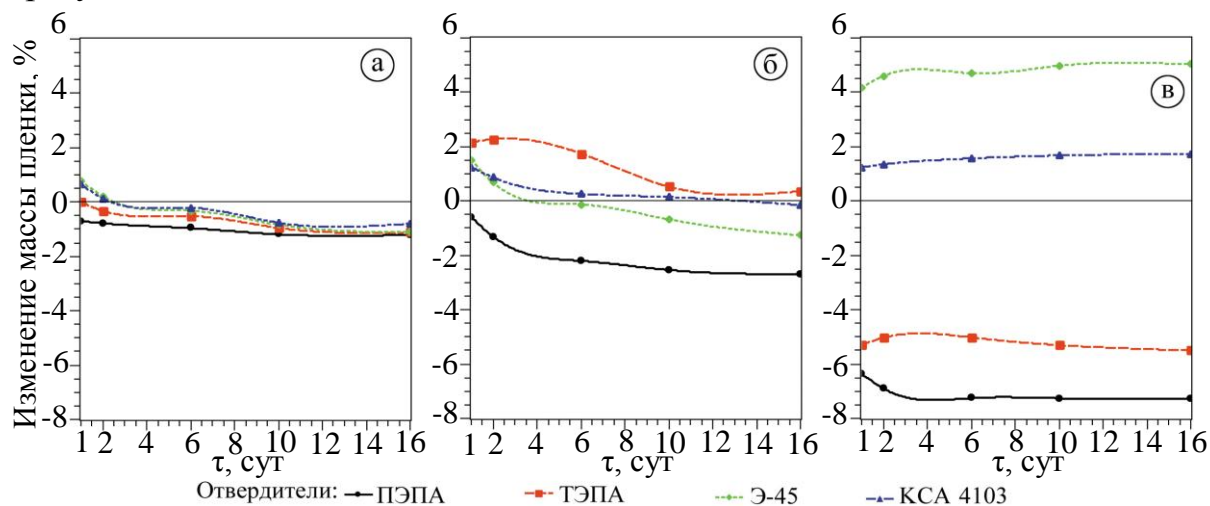


Рисунок 5 – Величины емкостно-частотных коэффициентов исследуемых непигментированных эпоксидных покрытий (после 168 ч в 3 мас. % растворе NaCl)

Наименьшей величиной $K_{F,C}$ (т. е. лучшими изолирующими свойствами) отличаются покрытия, сформированные из пленкообразующей системы KER 215 – КСА 4103 (состав № 12). Также данные покрытия характеризуются одной из наибольших величин смещения потенциала разомкнутой цепи в более электроположительную область (185 мВ) и наименьшей положительной величиной изменения массы лакокрасочной пленки (без стадии ее уменьшения) под воздействием раствора NaCl (не более 1,7 мас. %) (рисунок 6). На основании вышеизложенного для дальнейших исследований выбрана пленкообразующая система KER 215 – КСА 4103.



Эпоксидная смола: а – CHS Ероху 210; б – Э41; в – KER 215

Рисунок 6 – Зависимость величины изменения массы лакокрасочных пленок от продолжительности воздействия 3 мас. % раствора NaCl

Применение емкостно-частотного коэффициента позволяет исследовать влияние количественного состава пленкообразующей системы на изолирующие свойства лакокрасочных покрытий. Введение 15% мольного избытка эпоксидной смолы KER 215 относительно стехиометрического количества (массовое соотношение – 1,57:1) позволяет улучшить защитные свойства покрытий: снизить величину емкостно-частотного коэффициента практически на 25%, уменьшить гидрофильность пленки при сохранении физико-механических свойств покрытий на высоком уровне (рисунок 7).

Для изучения влияния состава и количества пигментной части на физико-механические и электрохимические свойства эпоксидных покрытий разработали симплекс-решетчатый план эксперимента для трехкомпонентной смеси «алюминиевая пудра – железная слюдка – микротальк». Исследования проводили при коэффициенте лакокрасочной системы (Q), равном 0,7.

Прочность при ударе покрытий на основе исследуемых композиций возрастает с увеличением доли алюминиевой пудры. Зависимость других свойств покрытий от состава пигментной части имеет более сложный характер (рисунок 8). Адгезия покрытий находится в пределах от 2,0 до 4,0 МПа.

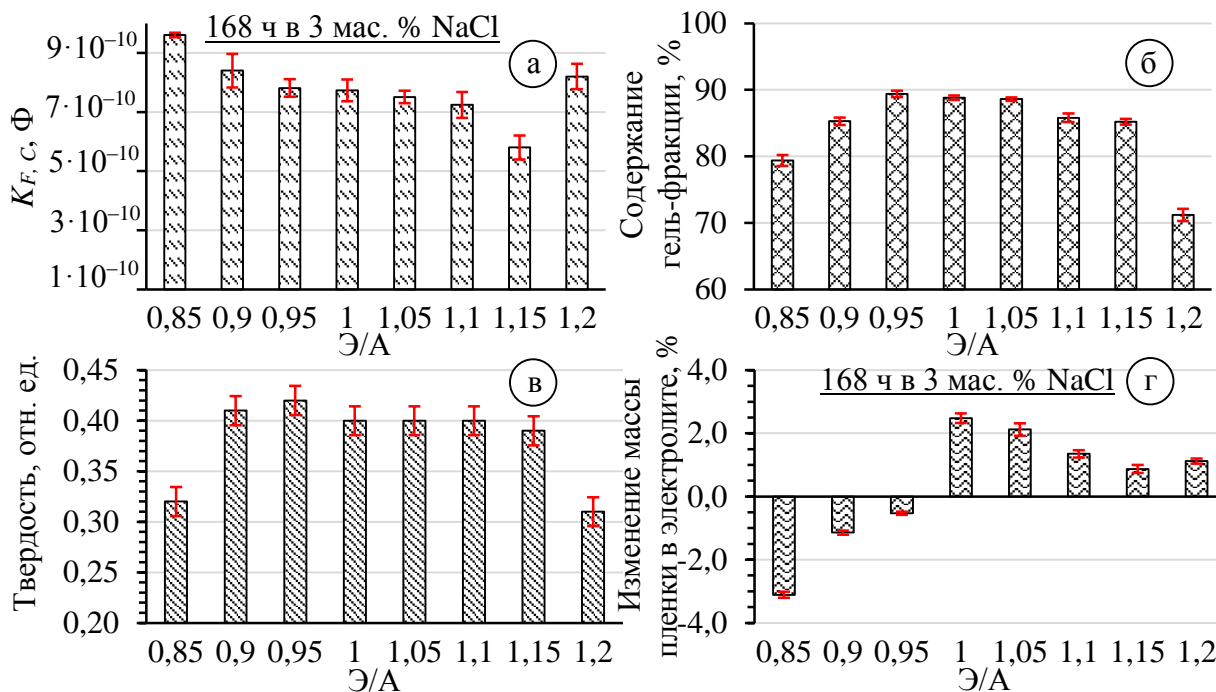
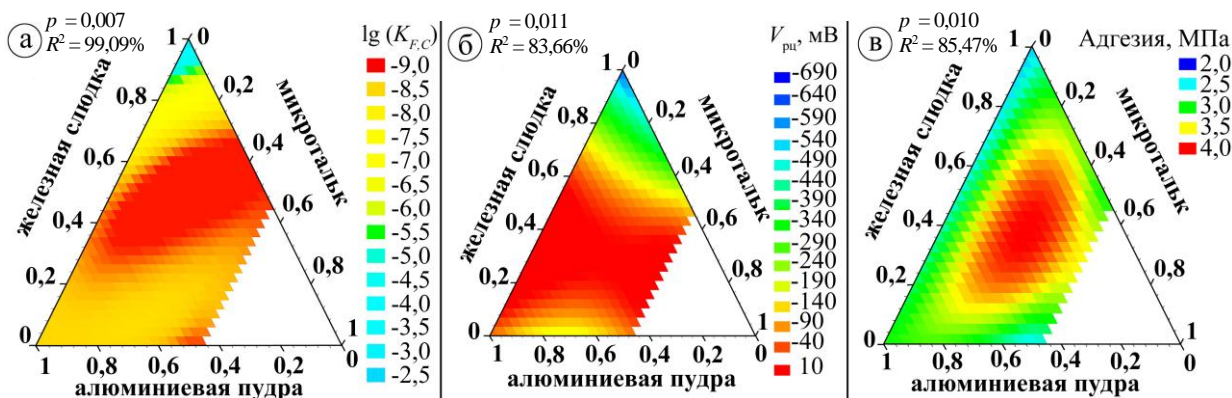


Рисунок 7 – Зависимость емкостно-частотного коэффициента (а), содержания гель-фракции (б), твердости (в) и изменения массы пленок в электролите (г) непигментированных эпоксидных покрытий от мольного соотношения между эпоксидной смолой KER 215 и отвердителем изофорондиамином (Э/А)



а – емкостно-частотный коэффициент;

б – потенциал разомкнутой цепи; в – адгезия

Рисунок 8 – Зависимость свойств эпоксидных лакокрасочных покрытий от состава пигментной части (об. доли) при $Q = 0,7$ после 90 сут в 3 мас. % NaCl

Величина емкостно-частотного коэффициента после 90 сут воздействия 3 мас. % водного раствора NaCl находится в пределах от $1,09 \cdot 10^{-9}$ до $5,75 \cdot 10^{-3}$ Ф. Достаточно большие величины $K_{F,C}$ (более $1 \cdot 10^{-4}$ Ф) свидетельствует о том, что некоторые покрытия утратили защитные свойства. Дополнительным подтверждением этому служит существенное снижение (до минус 690 мВ) величины потенциала разомкнутой цепи $V_{отк}$ для части исследуемых образцов.

В результате решения задачи оптимизации найдено содержание компонентов пигментной части (39,70 об. % железной слюдки, 33,20 об. % алюминиевой пудры и 27,10 об. % микроталька, что в массовом выражении составляет

54,49 мас. % железной слюдки, 24,21 мас. % алюминиевой пудры и 21,30 мас. % микроталька), при котором покрытия характеризуются наименьшей величиной $K_{F,C}$, т. е. максимальной изолирующей способностью. КОКП данного состава равна 40,29%.

Установлено, что с увеличением коэффициента лакокрасочной системы (Q) изолирующие свойства покрытий улучшаются, достигая наилучшего значения при Q , равном 0,6 (рисунок 9). Такой характер изменения $K_{F,C}$ может быть объяснен первоначальным улучшением изолирующих свойств покрытий за счет многослойного перекрывания пластинчатых частиц пигментов и наполнителей друг другом. При дальнейшем увеличении содержания пигментной части (Q больше 0,6), возможно, происходит постепенное нарушение плоскопараллельного расположения твердых частиц в покрытии, что приводит к ухудшению их изолирующих свойств.

Таким образом, с применением емкостно-частотного коэффициента установлено влияние качественного и количественного состава пленкообразующей системы и пигментной части на изолирующие свойства покрытий, что позволило разработать рецептуру антикоррозионного эпоксидного лакокрасочного материала, формирующего покрытия при 20°C с высокой изолирующей способностью в электролитах, адгезией 4,5 МПа, твердостью 0,37 отн. ед., прочностью при ударе 25 см.

Таблица – Рецептура разработанного лакокрасочного материала

Наименование компонента	Содержание компонента, мас. %
Эпоксидная смола KER 215	29,15
Аминный отвердитель КСА 4103	18,52
Железная слюдка MIOX micro 30	25,17
Алюминиевая пудра ПАП-1	11,19
Микротальк Finntalc M30	9,85
Растворитель	4,37
Диспергатор	1,46
Деаэратор	0,29
Итого	100,00

Прогнозируемая по разработанному методу долговечность покрытий составляет: от 8 до 10 лет в воде, 3 и 9 мас. % растворах NaCl, 41 сут в 3 мас. % растворе NaOH и 82 сут в 3 мас. % растворе HCl.

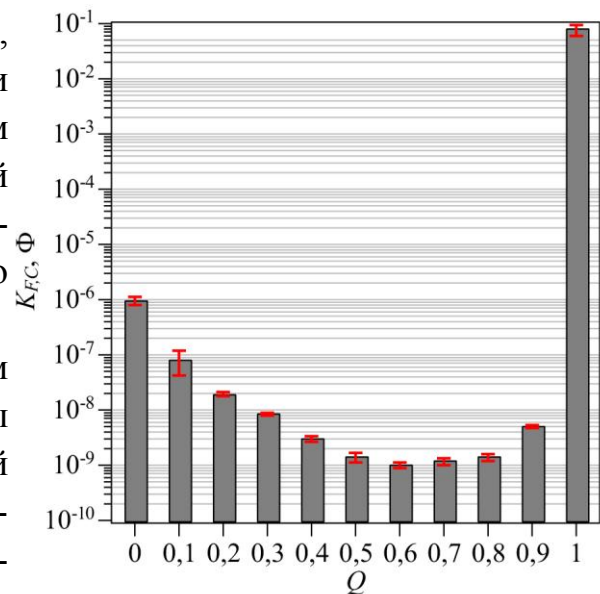


Рисунок 9 – Зависимость емкостно-частотного коэффициента покрытий от коэффициента лакокрасочной системы Q (90 сут в 3 мас. % NaCl)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Предложен метод расчета и обосновано применение емкостно-частотного коэффициента как нового критерия оценки изолирующих свойств непигментированных и пигментированных лакокрасочных покрытий толщиной до 3500 мкм, учитывающего закономерности изменения емкости систем «окрашенная стальная пластина – электролит» в частотном диапазоне от 500 до 2 000 000 Гц [2–А; 3–А; 4–А; 6–А; 10–А; 11–А; 14–А].

2. Установлено, что изменение величины емкостно-частотного коэффициента лакокрасочных покрытий под воздействием воды и водных растворов электролитов в широком диапазоне температур происходит последовательно в три стадии: первоначальное уменьшение или замедленный рост (при условии доотверждения пленкообразующей системы при повышенной температуре), активный рост (что обусловлено проникновением электролита на границу «сталь – покрытие», термической и химической деструкцией макромолекул связующего, появлением микро- и макропор в покрытии) и стадия стабилизации, достижение которой свидетельствует о протекании нежелательного процесса подпленочной коррозии.

Теоретически обосновано и экспериментально подтверждено, что величина емкостно-частотного коэффициента в конце стадии активного роста является критической, т. к. ее достижение свидетельствует об окончании срока службы антикоррозионных лакокрасочных покрытий по причине протекания нежелательного процесса подпленочной коррозии. Критическая величина емкостно-частотного коэффициента определяется особенностями адгезионного взаимодействия между лакокрасочным покрытием и стальной поверхностью: покрытия с когезионным типом разрушения утрачивают свои защитные свойства при больших величинах емкостно-частотных коэффициентов. Установлены критические величины емкостно-частотных коэффициентов для исследованных эпоксидных ($5 \cdot 10^{-3}$ Ф), полиэфирных ($5 \cdot 10^{-2}$ Ф), эпоксиноволачных ($1 \cdot 10^{-4}$ Ф) и полиуретановых ($1 \cdot 10^{-4}$ Ф) антикоррозионных лакокрасочных покрытий, которые могут быть использованы при расчете срока службы любых покрытий с соответствующей природой пленкообразующей системы при условии схожести характера их адгезионного взаимодействия с окрашиваемой поверхностью и механизма утраты защитных свойств [3–А; 4–А; 6–А; 11–А; 14–А].

3. Разработан электрохимический метод прогнозирования долговечности антикоррозионных лакокрасочных покрытий, эксплуатируемых при постоянном воздействии растворов электролитов в широком диапазоне температур, заключающийся в расчете емкостно-частотного коэффициента в начале

стадии его активного роста, экспонировании лакокрасочных покрытий в эксплуатационных условиях в течение не менее 3 временных интервалов, обеспечивающих увеличение емкостно-частотного коэффициента не менее чем в 5 раз, установлении кинетики изменения емкостно-частотного коэффициента до критической величины, определении характера разрушения покрытия при нормальном отрыве, применение которого позволило обоснованно выбрать покрытия, обладающие наибольшей стойкостью к подпленочной коррозии и обеспечивающие длительную (не менее 13 лет) антикоррозионную защиту окрашиваемых стальных поверхностей оборудования в условиях переработки калийных руд (95–107°C, насыщенный водный раствор NaCl и KCl) [3–А; 4–А; 6–А; 11–А; 14–А].

4. С использованием емкостно-частотного коэффициента установлены составы пленкообразующей системы (эпоксидиановая смола с содержанием 4,88 ммоль/г эпоксидных групп и отвердитель изофорондиамин с содержанием 5,22 ммоль/г аминных групп в массовом соотношении 1,57:1) и пигментной части (железная слюдка – 39,70 об. %, алюминиевая пудра – 33,20 об. %, микротальк – 27,10 об. %), их соотношение (коэффициент лакокрасочной системы – 0,6), обеспечивающие покрытиям на основе разработанного эпоксидного лакокрасочного материала высокие показатели: твердость – 0,37 отн. ед., адгезия – 4,5 МПа, срок службы в условиях постоянного воздействия воды, 3 и 9 мас. % растворов NaCl – более 8 лет [1–А; 2–А; 5–А; 7–А; 8–А; 9–А; 11–А; 12–А; 13–А].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Разработанный метод прогнозирования долговечности антикоррозионных лакокрасочных покрытий позволяет рассчитывать срок службы антикоррозионных лакокрасочных покрытий при постоянном воздействии воды и водных растворов электролитов в широком диапазоне температур, поэтому его можно использовать на предприятиях машиностроения и химической промышленности. Эффективность метода подтверждена его успешной промышленной апробацией на ОАО «Беларуськалий» и актами внедрения и использования результатов на ИООО «Славкалий», ООО «Пассатсталь», ООО «Мерлан К».

Емкостно-частотный коэффициент рекомендуется использовать при разработке рецептур лакокрасочных материалов, т. к. его применение позволяет в короткие сроки обосновывать качественный и количественный состав пленкообразующей системы и пигментной части для получения покрытий с высокой изолирующей способностью в электролитах.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

Статьи в журналах, входящих в перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований

1–А. Потапчик А.Н., Егорова А.Л. Барьерные свойства пленкообразующих систем «эпоксидная смола – аминный отвердитель» // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2021. – Т. 66, № 2. – С. 169–179. DOI: 10.29235/1561-8358-2021-66-2-169-179.

2–А. Потапчик А.Н., Егорова А.Л. Электрохимические свойства покрытий как критерий оптимизации рецептур антикоррозионных эпоксидных лакокрасочных материалов // Полимерные материалы и технологии. – 2021. – Т. 7, № 2. – С. 59–65. DOI: 10.32864/polymmattech-2021-7-2-59-65.

3–А. Потапчик А.Н., Егорова А.Л. Электрохимический метод прогнозирования долговечности антикоррозионных лакокрасочных покрытий // Полимерные материалы и технологии. – 2022. – Т. 8, № 2. – С. 30–38. DOI: 10.32864/polymmattech-2022-8-2-30-38.

4–А. Потапчик А.Н., Егорова А.Л. Выбор лакокрасочных материалов для антикоррозионной защиты аппаратов переработки калийных руд // Полимерные материалы и технологии. – 2022. – Т. 8, № 3. – С. 65–73. DOI: 10.32864/polymmattech-2022-8-3-65-73.

Статьи в других научных журналах и сборниках научных трудов

5–А. Потапчик А.Н., Егорова А.Л. Определение критической объемной концентрации пигментов в покрытиях на основе эпоксидных пленкообразователей: сравнение методов // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: сб. науч. тр. – Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2019. – С. 82–91.

6–А. Потапчик А.Н., Егорова А.Л. Разработка метода прогнозирования долговечности антикоррозионных лакокрасочных покрытий // Труды БГТУ. Сер. 2. Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. – 2021. – № 2 (247). – С. 175–186. DOI: 10.52065/2520-2669-2021-247-2-175-186.

Материалы конференций

7–А. Потапчик А.Н., Егорова А.Л. Определение критической объемной концентрации пигментов по изменению электрохимических свойств лакокрасочных покрытий // Технология органических веществ: материалы 83-ой научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов / г. Минск, (4–5 февраля 2019 г.). – Минск: БГТУ, 2019. – С. 59–60.

8–А. Потапчик А.Н., Егорова А.Л. Изучение влияния типа отвердителя на антикоррозионные свойства эпоксидных покрытий электрохимическими

методами // Технология органических веществ: материалы 84-ой научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов / г. Минск, (3–14 февраля 2020 г.). – Минск: БГТУ, 2020. – С. 88–90.

9–А. Потапчик А.Н. Влияние применяемого растворителя на свойства непигментированных покрытий // Технология органических веществ: материалы 85-ой научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов / г. Минск, (1–13 февраля 2021 г.). – Минск: БГТУ, 2021. – С. 107–109.

10–А. Потапчик А.Н. Разработка методики определения срока службы антикоррозионных лакокрасочных покрытий // Технология органических веществ: материалы докладов 85-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), г. Минск, (1–13 февраля 2021 г.). – Минск: БГТУ, 2021. – С. 110–112.

11–А. Потапчик А.Н. Экспресс-метод оценки антикоррозионных свойств и расчета срока службы лакокрасочных покрытий // Нефтехимия-2021: материалы IV Международного научно-технического форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке / г. Минск, (22–24 ноября 2021 г.). – Минск: БГТУ, 2021. – С. 96–99.

Тезисы докладов

12–А. Потапчик А.Н. Влияние типа отвердителя на барьерные свойства непигментированных эпоксидных покрытий // Сборник трудов Всероссийской научной конференции (с международным участием) преподавателей и студентов вузов «Актуальные проблемы науки о полимерах» / г. Казань, (21–22 апреля 2020 г.). – Казань: Казан. нац. исслед. технол. ун-т, 2020. – С. 63.

13–А. Потапчик А.Н. Применение электрохимических методов исследований при разработке рецептур антикоррозионных лакокрасочных материалов // Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования: материалы VI Республиканской научно-технической конференции молодых ученых, посвященной памяти члена-корреспондента НАН Беларуси С.С. Песецкого / г. Гомель, (9–11 ноября 2020 г.). – Гомель: ИММС НАН Беларуси, 2020. – С. 117–118.

Заявка на патент Республики Беларусь

14–А. Способ прогнозирования долговечности антикоррозионных лакокрасочных покрытий: заявка № а20220064 / А.Н. Потапчик, А.Л. Егорова. – Заявл. 21.03.2022 г.



РЭЗІЮМЭ

Патапчык Аляксандр Мікалаевіч

ЭЛЕКТРАХІМІЧНЫ МЕТАД ПРАГНАЗАВАННЯ ДАЎГАВЕЧНАСЦІ АНТЫКАРАЗІЙНЫХ ЛАКАФАРБАВЫХ ПАКРЫЦЦЯЎ

Ключавыя словы: лакафарбавае пакрыццё, электрахімічная карозія, ёмістасць, супраціўленне, ёміста-частотны каэфіцыент, даўгавечнасць, тэрмін службы, ізалюючая здольнасць

Мэта даследавання – распрацаваць электрахімічны метада прагназавання даўгавечнасці антыкаразійных лакафарбавых пакрыццяў, якія эксплуатауюцца пры пастаянным уздзеянні электралітаў у шырокім дыяпазоне тэмператур.

Метады даследавання: электрахімічныя (вызначэнне ёмістасці і супраціўлення сістэм «афарбаваная сталёвая пласціна – электраліт» з выкарыстаннем асцылографа ВК 2540С па $I-V$ метадазе, патэнцыялу разамкнутага ланцуга з выкарыстаннем патэнцыястата-гальванастата Р-2Х), стандартызаваныя метады (ДАСТ, ISO) вызначэння тэхналагічных уласцівасцей лакафарбавых матэрыялаў, фізіка-механічных і ахоўных уласцівасцей лакафарбавых пакрыццяў. Вызначэнне трываласці пры разрыве і адноснага падаўжэння свабодных плёнак выконвалі з дапамогай разрыўнай машыны T2020 DC10 SH.

Атрыманыя вынікі і іх навізна. Распрацаваны новы электрахімічны метада прагназавання даўгавечнасці антыкаразійных лакафарбавых пакрыццяў, якія эксплуатауюцца пад пастаянным уздзеяннем раствораў электралітаў у шырокім дыяпазоне тэмператур.

Прымяненне прапанаванага метада дазволіла разлічыць тэрмін службы лакафарбавых пакрыццяў ва ўмовах работы апаратаў перапрацоўкі калійнай руды на ААТ «Беларуськалій» і распрацаваць рэцэптуру эпаксіднага антыкаразійнага лакафарбавага матэрыялу, які фарміруе пакрыцці з працяглым (больш за 8 гадоў) тэрмінам службы ва ўмовах пастаяннага ўздзеяння вады і раствораў хларыду натрыю.

Рэкамендацыі па выкарыстанні. Распрацаваны метада прызначаны для прагназавання даўгавечнасці антыкаразійных лакафарбавых пакрыццяў, якія эксплуатауюцца пад пастаянным уздзеяннем раствораў электралітаў. Ёміста-частотны каэфіцыент дазваляе вызначаць уплыў якаснага і колькаснага складу лакафарбавых матэрыялаў на ахоўныя ўласцівасці лакафарбавых пакрыццяў і таму рэкамендуецца да выкарыстання на асноўных стадыях распрацоўкі рэцэптур антыкаразійных лакафарбавых матэрыялаў.

Галіна выкарыстання: лакафарбавая прамысловасць.

РЕЗЮМЕ

Потапчик Александр Николаевич

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ АНТИКОРРОЗИОННЫХ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ

Ключевые слова: лакокрасочное покрытие, электрохимическая коррозия, емкость, сопротивление, емкостно-частотный коэффициент, долговечность, срок службы, изолирующая способность

Цель работы – разработать электрохимический метод прогнозирования долговечности антикоррозионных лакокрасочных покрытий, эксплуатируемых при постоянном воздействии электролитов в широком диапазоне температур.

Методы исследования: электрохимические (определение емкости и сопротивления систем «окрашенная стальная пластина – электролит» с применением осциллографа ВК 2540С по $I-V$ методу, потенциала разомкнутой цепи с применением потенциостата-гальваностата Р-2Х), стандартизированные методы (ГОСТ, ISO) определения технологических свойств лакокрасочных материалов, физико-механических и защитных свойств лакокрасочных покрытий. Прочность при разрыве и относительное удлинение свободных пленок определяли с помощью разрывной машины Т2020 DC10 SH.

Полученные результаты и их новизна. Разработан новый электрохимический метод прогнозирования долговечности антикоррозионных лакокрасочных покрытий, эксплуатируемых при постоянном воздействии растворов электролитов в широком диапазоне температур.

Применение предложенного метода позволило рассчитать срок службы лакокрасочных покрытий в условиях работы аппаратов переработки калийных руд на ОАО «Беларуськалий» и разработать рецептуру эпоксидного антикоррозионного лакокрасочного материала, формирующего покрытия с длительным (более 8 лет) сроком службы в условиях постоянного воздействия воды и растворов хлорида натрия.

Рекомендации по использованию. Разработанный метод предназначен для прогнозирования долговечности антикоррозионных лакокрасочных покрытий, эксплуатируемых при постоянном воздействии растворов электролитов. Емкостно-частотный коэффициент позволяет устанавливать влияние качественного и количественного состава лакокрасочных материалов на защитные свойства покрытий и рекомендуется к использованию на основных стадиях разработки рецептур антикоррозионных лакокрасочных материалов.

Область применения: лакокрасочная промышленность.

SUMMARY

Alexander N. Potapchik

ELECTROCHEMICAL METHOD FOR PREDICTING OF DURABILITY OF ANTI-CORROSION COATINGS

Keywords: paint coating, electrochemical corrosion, capacitance, resistance, capacitance-frequency coefficient, durability, service life period, insulating ability

The aim of the research is to develop an electrochemical method for predicting of durability of anti-corrosion coatings operated under constant exposure to electrolytes in a wide temperature range.

Methods of the research: electrochemical (determination of the capacitance and resistance of the “painted steel plate – electrolyte” systems using the BK 2540C oscilloscope according to *I-V* method, determination of open circuit potential using the P-2X potentiostat-galvanostat), standardized methods (GOST, ISO) determination technological properties of paints, physical-mechanical and protective properties of paint coatings. The tensile strength and relative elongation of non-adhered films were determined using a T2020 DC10 SH tensile testing machine.

The results obtained and their novelty. A new electrochemical method has been developed for predicting of durability of anti-corrosion paint coatings operated under the constant influence of electrolyte solutions in a wide temperature range.

The application of the developed method made it possible to calculate the service life of paint coatings in the conditions of operation of potash ore processing equipment at Belaruskali and propose a formulation of an epoxy anti-corrosion paint that forms coatings with a long (more than 8 years) service life under conditions of constant exposure to water and solutions of sodium chloride.

Recommendations for use. The developed method is designed to determine the service life of anti-corrosion paint coatings operated under constant exposure to electrolytes solutions. The capacitance-frequency coefficient makes it possible to study the effect of the qualitative and quantitative composition of paints on the protective properties of paint coatings, and therefore it is recommended for use at the main stages of developing formulations of anti-corrosion paints.

Field of application: paint and coatings industry.

Научное издание

Потапчик Александр Николаевич

**ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
ДОЛГОВЕЧНОСТИ АНТИКОРРОЗИОННЫХ
ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ**

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности
05.16.09 – материаловедение (химическая промышленность)

Ответственный за выпуск А. Н. Потапчик

Подписано в печать 16.11.2022. Формат 60×84 ¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 1,3. Уч.-изд. л. 1,4.
Тираж 60 экз. Заказ 351.

Издатель и полиграфическое исполнение:

УО «Белорусский государственный технологический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий
№ 1/227 от 20.03.2014.
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.