



Научная статья

УДК 667.613

DOI: 10.52957/2782-1900-2025-6-2-57-64

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА КАТАФОРЕЗНОЙ ГРУНТОВКИ

И. Г. Кольцов^{1,2}, А. А. Ильин², В. В. Милославская¹, А. Д. Хлопотинин¹

Иван Германович Кольцов, аспирант, руководитель группы в ЗАО «НПК ЯрЛИ»; Александр Алексеевич Ильин, д-р. хим. наук, профессор; Валентина Владимировна Милославская, зав. лаборатории; Артем Денисович Хлопотинин, инженер первой категории

¹ ЗАО «НПК ЯрЛИ», 150044, Россия, г. Ярославль, ул. проспект Октября 87; saxarova@yarli.ru

² ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет», 150023, Россия, г. Ярославль, Московский пр., д. 88; ilyinaa@ystu.ru

Ключевые слова:
пигментная паста,
катафорезная
грунтовка, степень
перетира,
диспергатор

Аннотация. Изучено влияние различных диспергаторов на время диспергирования пигментной пасты катафорезной грунтовки и на некоторые свойства сформированного покрытия. Показано, что диспергатор на основе неионогенных ПАВ (тетраметилдециндиола) в этиленгликоле позволяет диспергировать пигменты и наполнители в водной среде до требуемой степени дисперсности частиц ~15 мкм (по гриндометру) за минимальное время. При использовании данного диспергатора наблюдаются наилучшие свойства покрытия.

Для цитирования:

Кольцов И.Г., Ильин А.А., Милославская В.В., Хлопотинин А.Д. Технологические и эксплуатационные свойства катафорезной грунтовки // *От химии к технологии шаг за шагом*. 2025. Т. 6, вып. 2. С. 57-64. URL: <https://chemintech.ru/ru/nauka/issue/6013/view>

Введение

Объем рынка электроосаждаемых материалов растет в среднем на 5% в год. Это прежде всего обусловлено ужесточением экологических норм, увеличением объемов автомобильной промышленности, в частности мировой тенденции перехода на электромобили, промышленным и коммерческим строительством, производством бытовой техники [1,2]. Материалы, электроосаждаемые на катоде, обеспечивают отличную коррозионную защиту металлических изделий, равномерную толщину пленки даже на изделиях сложной формы, высокую производительность окрашивания [3]. Современные катафорезные грунтовки представляют собой двухкомпонентную систему, состоящую из дисперсии основного связующего и пигментной пасты. Для обеспечения постоянства параметров рабочего раствора в ванне и свойств покрытия электроосаждаемого на катоде материала, особенно в условиях массового промышленного производства, необходимо, чтобы используемые компоненты были



стабильными в процессе эксплуатации [4-6]. Особые требования предъявляются к пигментной пасте, которая представляет собой суспензию пигментов и наполнителей в синтетической смоле с добавками целевого назначения. При производстве пигментных паст самым важным, сложным и энергозатратным этапом является диспергирование пигментов. При этом необходим правильный подбор диспергирующих добавок [7,8]. Основные сложности включают в себя [9]:

1. Предотвращение повторной флокуляции диспергированных частиц.
2. Высокое поверхностное натяжение воды затрудняет смачивание поверхности пигментов, обладающих низкой поверхностной энергией.
3. Высокое содержание полярных групп водоразбавляемой смолы.

В работе [10] разработана технология получения пигментной пасты катафорезной грунтовки на основе эпоксиаминного олигомера.

Цель настоящей работы – изучение влияния различных диспергаторов, используемых при получении пигментных паст катафорезной грунтовки, на технологические свойства материала и эксплуатационные свойства покрытия.

Основой пигментной пасты катафорезной грунтовки являлся водоразбавляемый нейтрализованный уксусной кислотой эпоксиаминный аддукт (рис. 1), имеющий следующие характеристики: кажущаяся вязкость 6.24 Па·с; массовая доля нелетучих веществ 57.2%; плотность 1.02 г/см³; температура вспышки 58 °С [11-13]. Данный аддукт был наполнен диоксидом титана, каолином, сульфатом бария, углеродной сажей.

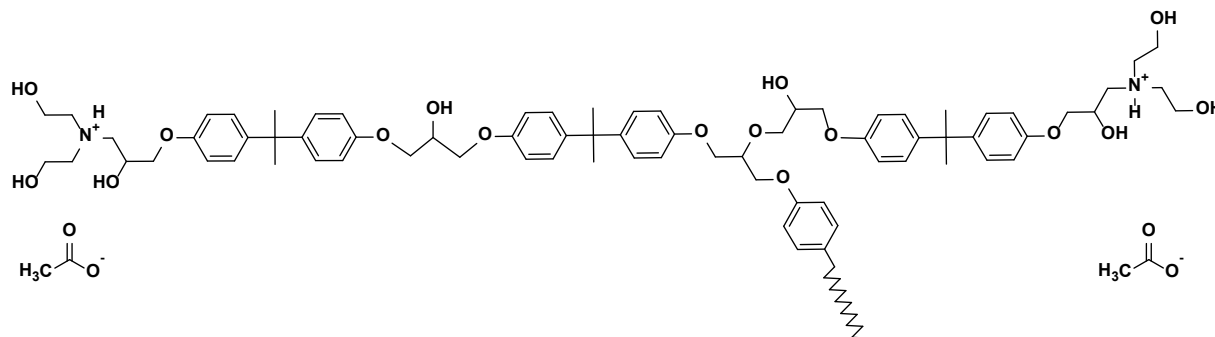


Рис. 1. Общая структурная формула эпоксиаминного аддукта нейтрализованного уксусной кислотой

Степень наполнения составляла 14.5% об. Преддиспергирование пигментной пасты проводили на диссольвере Dispermat LC-110 (производства VMA-Getzmann) с использованием фрезы при окружной скорости ~6 м/с в течение 15 минут. Дисперсность после данной стадии оценивали по гриндометру. Окончательное диспергирование проводилось на погружной бисерной мельнице Dispermat LC-110 при линейной скорости 7.5-7.8 м/с до достижения степени перетирания 15 мкм [14,15].

Для изучения влияния природы диспергаторов на технологические свойства материала и эксплуатационные свойства покрытия использовали следующие вещества:

1. Диспергатор №1 – прозрачная маслянистая жидкость, представляет собой 50% раствор смеси поверхностно-активных веществ (не содержит силикон) в этиленгликоле,



рекомендуется для применения в водных системах. Этот диспергатор обеспечивает дефлокуляцию пигментов посредством электростерической стабилизации.

2. Диспергатор №2 – прозрачная жидкость с легким желтым оттенком, представляет собой 50% раствор неионогенного ПАВ (тетраметилдецидиол) в этиленгликоле, рекомендуется для применения в водных системах. Он обеспечивает дефлокуляцию пигментов посредством электростерической стабилизации.

3. Диспергатор №3 – желто-коричневая высоковязкая жидкость, представляет собой 50% водный раствор модифицированного акрилового сополимера, рекомендуется для применения в водных системах, обеспечивает дефлокуляцию пигментов посредством стерической стабилизации.

Были изготовлены четыре образца пигментной пасты катафорезной грунтовки со следующим содержанием функциональных добавок:

1. **Образец №1** – с 1% масс. диспергатора №1.
2. **Образец №2** – с 1% масс. диспергатора №2.
3. **Образец №3** – с 1% масс. диспергатора №3.
4. **Образец №4** – по 0.5% масс. диспергатора №2 и №3.

Основным связующим в двухкомпонентной катафорезной грунтовке являлась водная дисперсия эпоксиаминного аддукта с блокированным толуилендиизоцианатом в роли сшивающего агента и добавками целевого назначения. Водная дисперсия эпоксиаминного аддукта имела следующие характеристики: кажущаяся вязкость 0.25 Па·с; массовая доля нелетучих веществ 37.1%; плотность 1.05 г/см³; температура вспышки 97 °С; водородный показатель (pH) 5.51 ед.; миллиэквивалент кислоты 35.4 ммоль/г.

Катализатором процесса отверждения служил оксид диоктилолова в количестве 3.3% масс.

Составление катафорезной грунтовки проводилось при соотношении основное связующее: пигментная паста 5:1 по массе. Расчетная массовая доля нелетучих веществ составляла около 20%, в качестве разбавителя использовалась деминерализованная вода [16].

Для составления катафорезной грунтовки в ёмкость с деминерализованной водой при перемешивании лопастной мешалкой с окружной скоростью 1.5 м/с вводилось основное связующее. Перемешивание полученной смеси осуществлялось в течение 15 минут, а затем небольшими порциями при перемешивании дозировали пигментную пасту. Стабилизацию катафорезной грунтовки производили в течение 24 часов при постоянном перемешивании лопастной мешалкой с окружной скоростью 1 м/с.

Экспериментальная часть

Кажущуюся вязкость смол и пигментных паст с различными диспергаторами определяли при температуре (23.0±0.2) °С по вискозиметру Брукфильда (тип А, шпиндель – диск №3 для дисперсии и пигментных паст; диск №4 для диспергирующей смолы) при 20 об/мин [17]. Массовую долю нелетучих веществ в смолах, полученных образцах пигментных паст и катафорезных грунтовок определяли по [18], при этом



навеска испытуемого образца составляла 1.0 ± 0.1 г, время сушки при $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 30 минут. Плотность смол определяли по [19] при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, температуру вспышки смол в закрытом тигле определяли по [20]. Показатель кислотности дисперсии и полученных катафорезных грунтовок определяли при температуре $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ по [21], миллиэквивалент кислоты водной дисперсии определяли по [22], удельную электрическую проводимость – по [23].

Седиментация катафорезных грунтовок оценивалась следующим образом: в стеклянный стакан по [24] вместимостью 600 см^3 наливали пробу грунтовки массой 500.0 ± 1.0 г на весах с классом точности II [25]. Далее накрывали стакан крышкой и оставляли в покое на 72 ч в месте, где отсутствует воздействие прямых солнечных лучей при комнатной температуре. По прошествии 72 ч без перемешивания испытуемый образец перемешивали лопастной мешалкой с окружной скоростью 2.5 м/с, при этом лопастная мешалка располагалась на расстоянии 1 см от дна стакана. Оценивали время по [26], за которое полностью вмешивался в раствор катафорезной грунтовки образующийся осадок.

Внешний вид покрытия определяли по [27], толщину покрытия определяли по [28], прочность покрытия при растяжении по Эриксену [29], прочность покрытий при ударе [30] на приборе У-1а (прямой удар), адгезия методом решетчатых надрезов [31], блеск [32], стойкость к воздействию 5%-ного соляного тумана (распространение коррозии от надреза) (метод Б) [33].

Для изучения влияния используемых функциональных добавок на свойства формируемых покрытий на основе катафорезной грунтовки проводились следующие испытания.

Катафорезная грунтовка наносилась на стальные пластины 08пс с предварительно полученным слоем фосфата цинка [34-36]. В качестве противоэлектрода использовалась пластинка из нержавеющей стали марки 08Х18Н10 [37], соотношение катод: анод по площади (4:1). В роли источника постоянного напряжения служил преобразователь П-ТРП-15-400, который выдавал значения напряжения до 400 В. Температура рабочего раствора катафорезной грунтовки поддерживалась в диапазоне $30.0\text{--}30.2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Время нанесения покрытия в ванне составляло 150 с, при потенциостатическом режиме 290 В. После нанесения покрытия промывались дистиллированной водой, далее помещались в сушильную камеру, где происходило термическое отверждение покрытий при температуре $165\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 20 минут за счет разблокированных изоцианатных групп с гидроксильными группами [38,39]. Покрытия перед испытаниями выдерживались при комнатной температуре в течение 1 суток.

Обсуждение результатов

В первую очередь в работе было изучено влияние функциональных добавок на процесс диспергирования пигментных паст. Результаты приведены на рисунке 2.

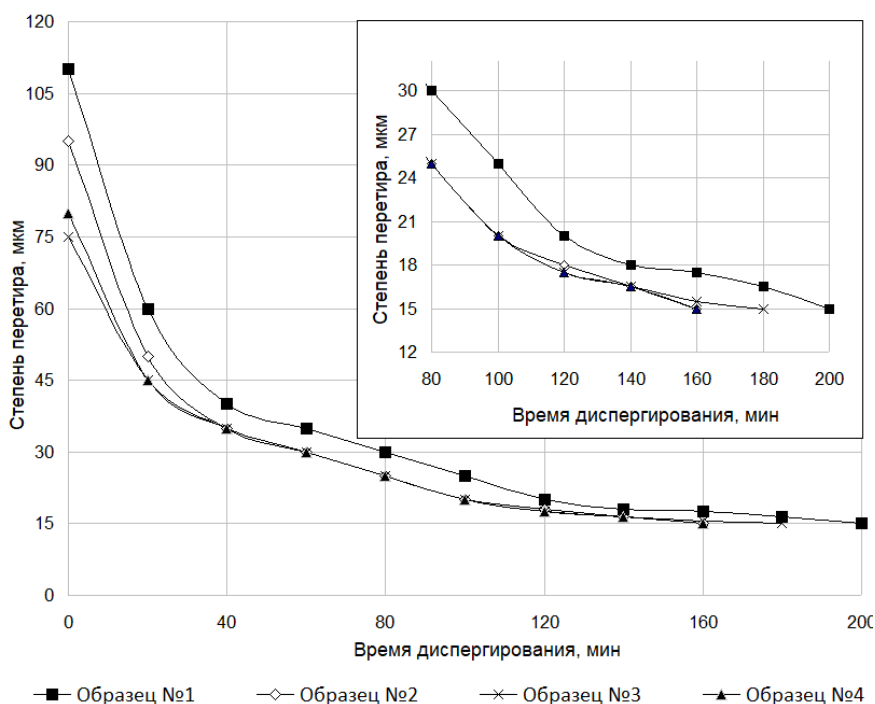


Рис. 2. Влияние времени диспергирования на степень перетира пигментных паст

Необходимая степень перетира пигментной пасты (15 мкм) достигается быстрее всего при использовании диспергаторов №2 и смеси диспергаторов №2 и №3 (образец №4).

Некоторые показатели полученных паст приведены в таблице 1.

Таблица 1. Показатели катафорезных пигментных паст

Показатель	Образец №1	Образец №2	Образец №3	Образец №4
Исходные показатели				
Кажущаяся вязкость, Па·с	2.78	2.05	1.82	1.92
Массовая доля нелетучих веществ, %	55.6	55.1	55.4	55.4
Степень перетира, мкм	15	15	15	15
Показатели после выдержки в течение 3 месяцев				
Кажущаяся вязкость, Па·с	5.90	2.89	2.33	2.55
Изменение вязкости, %	112	41	28	33
Массовая доля нелетучих веществ	55.7	55.2	55.7	55.5
Степень перетира, мкм	15	15	15	15

Следует отметить, что все образцы пигментных паст имеют приблизительно одну и ту же массовую долю нелетучих веществ и степень перетира. Причем, время выдержки пигментных паст в закрытой таре в течение 3 месяцев без воздействия прямых солнечных лучей при комнатной температуре практически не сказывается на этих параметрах. Наблюдается только влияние природы функциональной добавки и времени выдержки на кажущуюся вязкость паст. Образец №1 имеет самую высокую начальную кажущуюся вязкость, которая нарастает быстрее всего в процессе хранения. Это, вероятно, указывает на то, что используемые диспергаторы (особенно диспергатор №1) существенно влияют на структурирование пленкообразующей системы. С технологической точки зрения, в пигментной пасте рациональней использовать диспергатор №3, паста с которым имеет минимальную начальную кажущуюся вязкость и темп ее нарастания со временем.



При использовании образцов пигментных паст с различными диспергаторами были составлены катафорезные грунтовки по схеме, описанной выше. Результаты исследования полученных грунтовок приведены в таблице 2.

Таблица 2. Характеристики образцов катафорезных грунтовок

Наименование показателя	Образец №1	Образец №2	Образец №3	Образец №4
pH	5.35	5.40	5.32	5.32
Удельная электрическая проводимость, мкСм/см	1538	1560	1547	1563
Массовая доля нелетучих веществ, %	19.95	20.01	20.09	19.99
Седиментация, с	205	172	211	187

Установлено, что природа используемых диспергаторов оказывает влияние только на седиментационную устойчивость грунтовок. Образец грунтовки №2 демонстрирует достаточно высокую седиментационную устойчивость, при выдержке грунтовки в течение 72 часов образуется осадок, который полностью вмешивается в течение 172 с.

Установлено, что природа диспергатора не влияет на эксплуатационные свойства формируемых покрытий. Все приведенные в таблице 3 параметры имеют близкие численные значения, за исключением стойкости покрытия к воздействию 5%-ного раствора соляного тумана. Распространение коррозии от надреза для образца грунтовки №2 спустя 1500 ч наименьшее.

Таблица 3. Свойства полученных покрытий

Наименование показателя	Образец №1	Образец №2	Образец №3	Образец №4
Внешний вид	Однородное, гладкое, без кратеров, пор и морщин	Однородное, гладкое, без кратеров, пор и морщин	Однородное, гладкое, без кратеров, пор и морщин	Однородное, гладкое, без кратеров, пор и морщин
Толщина, мкм	18-20	18-20	18-20	18-20
Прочность покрытия при растяжении по Эриксену, мм	8.1	8.3	8.3	8.2
Прочность покрытия при ударе, см	50	50	50	50
Адгезия, балл	0	0	0	0
Блеск, единиц при угле 20°	19-22	18-21	19-22	19-22
при угле 60°	66-69	64-67	63-66	65-68
при угле 85°	92-94	91-93	91-93	92-94
Стойкость к воздействию 5%-ного соляного тумана, ч	1500	1500	1500	1500
с распространением коррозии от надреза мм,	1.9	1.5	1.8	1.7

Выводы

Таким образом, образец катафорезной грунтовки №2, пигментная паста для которой была получена с использованием раствора неионогенного ПАВ – тетраметилдециндиола, обеспечивающего дефлокуляцию пигментов посредством электростатической стабилизации, имеет наилучшие технологические и эксплуатационные свойства.



Список источников

1. Research and Markets: официальный сайт. Ирландия, 2025. URL: <https://www.researchandmarkets.com/reports/5744285/electrocoating-market-report> (дата обращения 09.04.2025).
2. Анцев В.Ю., Витчук Н.А., Витчук П.В., Петренко Е.А. Повышение качества процесса нанесения лакокрасочного покрытия на автомобили. *Вестник ВГУ*, 2020, 16(5), 119-123. DOI: 10.36622/VSTU.2020.16.5.018.
3. Квасников М.Ю., Замшин В.А., Кудлю В.Л., Ильина Н.С., Чинов В.В., Непочатов В.М. Новая технология получения электрофоретического покрытия на деталях вертолета, эксплуатирующихся в условиях фреттинг-коррозии. *Авиационные материалы и технологии*, 2019, 4(57), 49-55. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-4-49-55.
4. Goldschmidt A., Streiberger H.J. BASF Handbook on Basics of Coating Technology 2nd edition. Hanover: Vincentz Network, 2007, 694-696.
5. Кузнецова В.А., Силаева А.А., Железняк В.Г., Марченко С.А. Модификация эпоксидных пленкообразующих и отвердителей, применяемых для лакокрасочных покрытий (обзор). *Труды ВИАМ*, 2022, 5(111), 96-104. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-5-96-111.
6. Усманов Х.А.У. Изучение процесса осаждения пленки катафорезной грунтовки. *ТЕСНика*, 2021, 1, 14-19. DOI: 10.24411/2181-0753/2021-100003.
7. Васялина А.А., Ожиганов В.В., Бакунин Д.О., Ильин А.А. Улучшение диспергируемости водно-дисперсионной грунтовки. *От химии к технологии шаг за шагом*, 2022, 3(4), 15-18. DOI: 10.52957/27821900_2022_04_15.
8. Воронина Ю.А., Крылова Ю.А., Терешко А.Е. Разработка рецептуры водной фазы для нетоксичных красок. *От химии к технологии шаг за шагом*, 2023, 4(2), 29-34. DOI: 10.52957/2782-1900-2024-4-2-29-34.
9. Heilen W. et al. Additives for Waterborne Coatings. Hanover: Vincentz Network, 2009, 21-27.
10. Чурилов Ю.В., Силаева А.А., Макаров А.В., Должанская А.М. Разработка технологии получения пигментной пасты на основе эпоксидного олигомера для получения покрытий методом катодного электроосаждения. *ЖПХ*, 2022, 95(9), 1137-1142. DOI: 10.31857/S0044461822090055.
11. Усманов Х.А.У. Выбор подходящего связующего для пленкообразующей части грунтовки катодного электроосаждения. *ТЕСНика*, 2020, 1, 30-33. DOI: 10.24411/2181-0753/2020-10006.
12. Инаков Т.К., Долимова М.Я., Махамматова С.Х., Косимов А., Инаков К.Т.У. Перспектива выбора подходящего связующего для пленкообразующей части грунтовки. *Life Sciences and Agriculture*, 2020, 3-2, 37-40. DOI: 10.24411/2181-0761/2020-10132.
13. Чурилов Ю.В., Должанская А.М., Силаева А.А., Родионова Н.А., Точилкина Е.О., Квасников М.Ю. Синтез водорастворимых эпоксидных олигомеров и получение покрытий на их основе методом катодного электроосаждения. *Журнал СФУ. Химия*, 2022, 14(3), 361-367. DOI: 10.17516/1998-2836-0244.
14. ГОСТ 31973-2013. Материалы лакокрасочные. Метод определения степени перетира. М.: Стандартинформ, 2014, 11 с.
15. Васялина А.А., Ожиганов В.В., Милославская В.В., Бакунин Д.О., Ильин А.А., Индейкин Е.А. Улучшение технологических и эксплуатационных свойств водно-дисперсионной грунтовки. *ЛКМ и их применение*, 2023, 1-2, 20-23.
16. ГОСТ Р 58144-2018. Вода дистиллированная. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2019, 14 с.
17. ГОСТ 25271-93. Пластмассы. Смолы жидкие, эмульсии или дисперсии. Определение кажущейся вязкости по Брукфильду. М.: Издательство стандартов, 1994, 14 с.
18. ГОСТ 31939-2012. Лакокрасочные материалы. Определение массовой доли нелетучих веществ. М.: Стандартинформ, 2014, 12 с.
19. ГОСТ 31992.1-2012. Материалы лакокрасочные. Метод определения плотности. Часть 1. Пикнометрический метод. М.: Стандартинформ, 2013, 12 с.
20. ГОСТ 6356-75. Нефтепродукты. Метод определения температуры вспышки в закрытом тигле. М.: Издательство стандартов, 1994, 7 с.
21. ГОСТ 33290-2023. Материалы лакокрасочные, применяемые в строительстве. Общие технические условия. М.: Российский институт стандартизации, 2023, 20 с.



22. **ISO 15880:2000.** Paints, varnishes and binders – Determination of MEQ value of water-based coating materials and binders. G.: International Organization for Standardization, 2000, pp.4.
23. **ГОСТ 21119.7-75.** Красители органические и пигменты неорганические. Метод определения удельной электрической проводимости водной вытяжки. М.: ИПК Издательство стандартов, 1999, 2 с.
24. **ГОСТ 25336-82.** Посуда и оборудование лабораторные стеклянные. Типы, основные параметры и размеры. М.: Стандартиформ, 2009, 103 с.
25. **ГОСТ Р 53228-2008.** Весы неавтоматического действия. Часть 1. Метрологические и технические требования. Испытания. М.: Стандартиформ, 2010, 141 с.
26. **ГОСТ 8.423-81.** Государственная система обеспечения единства измерений. Секундомеры механические. Методы и средства поверки. М.: Издательство стандартов, 1981, 11 с.
27. **ГОСТ Р 51691-2008.** Материалы лакокрасочные. Эмали. Общие технические условия. М.: Стандартиформ, 2009, 15 с.
28. **ГОСТ 31993-2013.** Материалы лакокрасочные. Определение толщины покрытия. М.: Стандартиформ, 2014, 16 с.
29. **ГОСТ 29309-92.** Покрытие лакокрасочные. Определение прочности при растяжении. М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. 7 с.
30. **ГОСТ 4765-2024.** Материалы лакокрасочные. Метод определения прочности покрытия при ударе. М.: ФГБУ «Институт стандартизации», 2024, 12 с.
31. **ГОСТ 31149-2014.** Материалы лакокрасочные. Определение адгезии методом решетчатого надреза. М.: Стандартиформ, 2014, 16 с.
32. **ГОСТ 31975-2017.** Материалы лакокрасочные. Метод определения блеска лакокрасочных покрытий под углом 20°, 60°, 85°. М.: Стандартиформ, 2017, 24 с.
33. **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. М.: Стандартиформ, 2018. – 122 с.
34. **ГОСТ 8832-2024.** Материалы лакокрасочные. Методы получения лакокрасочного покрытия для испытания. М.: Российский институт стандартизации, 2024, 12 с.
35. **ГОСТ 16523-97.** Прокат тонколистовой из углеродистой стали качественной и обыкновенного качества общего назначения. Технические условия. М.: Стандартиформ, 2008, 16 с.
36. **ГОСТ 9045-93.** Прокат тонколистовой холоднокатаный из низкоуглеродистой качественной стали для холодной штамповки. Технические условия. М.: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1997, 13 с.
37. **ГОСТ 5632-2014.** Легированные нержавеющие стали и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки. М.: Стандартиформ, 2015, 52 с.
38. **Квасников М.Ю., Романова О.А., Уткина И.Ф., Смирнов К.Н., Киселёв М.Р., Королёв Ю.М., Крылова И.А., Антипов Е.М., Силаева А.А.** Получение металлополимерных покрытий совместным электроосаждением на катоде полимерных электролитов и металлов. *ВМС. Серия А*, 2015, 57(4), 361-367. DOI: 10.7868/S2308112015040094.
39. **Шестакова Л.А.** Особенности лакокрасочных теплопроводящих медь-полимерных покрытий, получаемых методом катодного электроосаждения. *Тенденции развития науки и образования*, 2022, 33(92), 93-96. DOI: 10.18411/trnio-12-2022-572.

Поступила в редакцию 15.05.2025

Одобрена после рецензирования 30.05.2025

Принята к опубликованию 11.06.2025