



Научная статья

УДК 667.613

DOI: 10.52957/2782-1900-2026-7-3-44-53

ВОДНОДИСПЕРСИОННЫЙ ЛАКОКРАСОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

И.Г. Кольцов^{1,2}, А.А. Ильин², А.Е. Терешко², А.В. Рундин²,
В.В. Милославская¹, М.В. Селиверстова¹, С.В. Варгасова², К.Е. Дмитриев²

Иван Германович Кольцов, аспирант, руководитель группы в ЗАО «НПК ЯрЛИ»; Александр Алексеевич Ильин, д-р. хим. наук, профессор; Анастасия Евгеньевна Терешко, канд. хим. наук, доцент; Андрей Владимирович Рундин, магистр; Валентина Владимировна Милославская, зав. лаборатории; Маргарита Викторовна Селиверстова, инженер первой категории; Светлана Викторовна Варгасова, аспирант; Кирилл Евгеньевич Дмитриев, аспирант

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, соотношение
пигмент-связующее

Аннотация. Изучено влияние соотношения пигмент/связующее в составе катафорезной грунтовки на технологические и эксплуатационные свойства покрытий. Установлен оптимальный диапазон соотношения — 0.10-0.30. При таких параметрах достигается баланс между эффективностью электроосаждения, удельного расхода и эквивалента осаждения, а также обеспечивается максимальный уровень коррозионной стойкости (1000 ч в камере соляного тумана), высокие физико-механические и цветовые характеристики покрытий.

Для цитирования:

Кольцов И.Г., Ильин А.А., Терешко А.Е., Рундин А.В., Милославская В.В., Селиверстова М.В., Варгасова С.В., Дмитриев К.Е. Воднодисперсионный лакокрасочный материал специального назначения // От химии к технологии шаг за шагом. 2026. Т. 7, вып. 3. С. 44-53. URL: <https://chemintech.ru/ru/nauka/issue/7500/view>

Введение

Несмотря на полувековую историю, метод электроосаждения лакокрасочных материалов (ЛКМ) остаётся одним из ведущих способов окраски [1]. Это объясняется его весомыми преимуществами, среди которых: минимальные потери ЛКМ в крупносерийном производстве, безупречное качество покрытий даже на изделиях сложной формы, экологическая безопасность и высокая автоматизация процесса [2]. Катодное осаждение обеспечивает более высокие защитные свойства покрытий по сравнению с анодным. Технология хорошо отработана и широко применяется для окрашивания металлических изделий [3-5]. Однако сложный состав



водно-дисперсионных лакокрасочных материалов порождает ряд нерешённых вопросов. Критически важно изучить, как соотношение компонентов влияет на технологические параметры нанесения и эксплуатационные свойства покрытий при катодном электроосаждении.

Цель настоящей работы – изучение влияния соотношения пигмент/связующее в составе катафорезной грунтовки на технологические и эксплуатационные свойства формируемых покрытий.

Основным связующим катафорезной грунтовки служила водная дисперсия эпоксиаминного аддукта нейтрализованного уксусной кислотой (рис. 1) со сшивающим агентом (блокированным толуилендиизоцианатом), катализатором (солью висмута в количестве 1.5 масс.%), и добавками целевого назначения [6-8]. Водная дисперсия эпоксиаминного аддукта имела следующие характеристики: кажущаяся вязкость 300 мПа·с; массовая доля нелетучих веществ 34.6 % масс.; плотность 1.05 г/см³; температура вспышки, 97 °С; водородный показатель (рН), 6.36 ед.; удельная электрическая проводимость 2066 мкСм/см.

Пигментная паста катафорезной грунтовки представляла собой вышеописанное связующее со следующими характеристиками: кажущаяся вязкость 6150 мПа·с; массовая доля нелетучих веществ 56.7 %; плотность 1.02 г/см³; температура вспышки 58 °С, с добавлением пигментной части (диоксида титан, каолина, сульфата бария, углеродной сажи, добавок целевого назначения), при этом степень наполнения составляла 13.1 об.% [9]. Диспергирование пигментной пасты осуществлялось на погружной бисерной мельнице Dispermat LC-110 до достижения степени дисперсности по гриндометру около 15 мкм [10, 11]. Полученная пигментная паста имела следующие характеристики: кажущаяся вязкость 1750 мПа·с; массовая доля нелетучих веществ 45.3 %; плотность 1.31 г/см³; водородный показатель (рН), 5.59 ед.

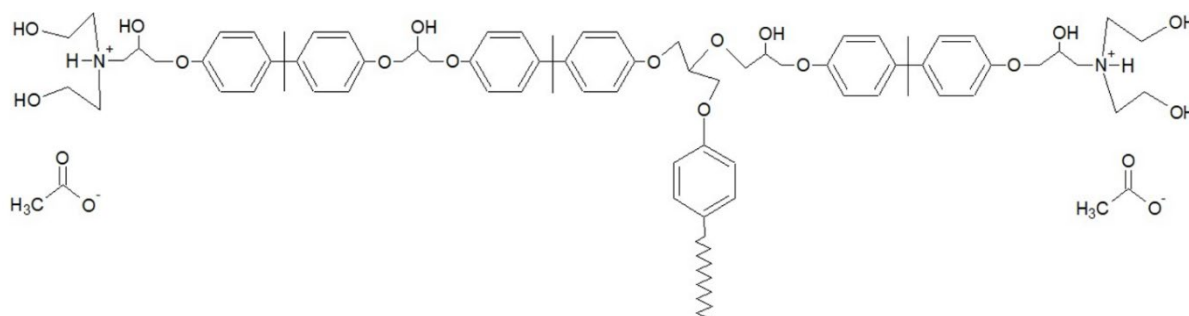


Рис. 1. Общая структурная формула эпоксиаминного аддукта нейтрализованного уксусной кислотой

Получение образцов катафорезной грунтовки с различным соотношением пигмент/связующее проводилось путем смешивания основного связующего и пигментной пасты с таким расчетом, чтобы массовая доля нелетучих веществ составляла около 20.5 % масс. В качестве разбавителя использовалась обессоленная вода [12]. Для этого в емкость из химически инертного пластика с обессоленной 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 дозирувалась пигментная паста.



Стабилизацию катафорезной грунтовки производили в течение 24 ч при постоянном перемешивании лопастной мешалкой с окружной скоростью 1 м/с.

Были составлены одиннадцать образцов катафорезной грунтовки с различным соотношением пигмент/связующее (таблица 1).

Экспериментальная часть

Кажущуюся вязкость грунтовок определяли при температуре 23.0 ± 0.2 °С по вискозиметру Брукфильда (тип А, шпиндель – диск №3) при 20 об/мин [13]. Массовую долю нелетучих веществ определяли по [14], при этом навеска испытуемого образца составляла 1.0 ± 0.1 г, время сушки при 180 °С в течение 30 минут. Плотность грунтовок определяли по [15] при 20 °С, температуру вспышки в закрытом тигле определяли по [16]. Показатель кислотности определяли при температуре 25 °С по [17], удельную электрическую проводимость по [18], степень дисперсности по [19]. Определение соотношения пигмент/связующее осуществлялось по [20].

Нанесение грунтовочного покрытия осуществлялось на стальные пластины марки 08пс размером 70×150 мм и толщиной 0.8 мм и 0.2 мм с нанесенным цинк-фосфатным покрытием [21-24]. В качестве противоэлектрода использовалась пластинка из нержавеющей стали марки 08Х18Н10 [25], при этом соотношение катод:анод по площади составило 4:1. В роли источника постоянного напряжения служил преобразователь П-ТРП-15-400, обеспечивающий напряжение до 400 В. Температура рабочего раствора катафорезной грунтовки поддерживалась в диапазоне 30.0-30.5 °С. Время нанесения покрытия в ванне электроосаждения составляло 135 с, при этом в течение 15 с осуществляли плавный подъём напряжения до рабочего, а затем в течение 120 с проводили нанесение покрытия в потенциостатическом режиме. После нанесения покрытие промывалось обессоленной водой, далее помещалось в сушильную камеру. Отверждение проводилось при температуре 170 °С. Пластины с нанесенными покрытиями перед испытаниями выдерживались при комнатной температуре в течение 1 суток.

Внешний вид покрытия определяли по [26], толщину полученный покрытий определяли по [27], и она составляла 19-22 мкм; прочность покрытия при растяжении по Эриксену [28], прочность покрытий при ударе [29] на приборе У-1а (прямой удар), адгезия методом решетчатых надрезов [30], блеск [31], шероховатость [32, 33], эластичность покрытия при изгибе определялась по [34] на пластинах толщиной 0,2 мм, цветовые характеристики [35], твердость покрытия по карандашу [36]. Определение проникающей способности проводилось согласно [37] метод Б, стойкость к воздействию 5%-ного соляного тумана (распространение коррозии от надреза) (метод Б) [38].

Л-панель тест (ЛПТ) определяли согласно методике [39]. При этом оценивали разницу в шероховатости, блеске и толщине покрытий на горизонтальной и вертикальной поверхности по 100 бальной шкале. Шероховатость оценивалась от 0 до 50 баллов, где 0 баллов – это менее 2.5%, а 50 баллов – это более 125.0%. Блеск - от 0 до 35 баллов, где 0 баллов – это менее 2.5%, а 35 баллов – это более 88.0 %. Толщина - от 0 до 15 баллов, где 0 баллов – это менее 2.5%, а 15 баллов – это более 38.0%. Обобщенный ЛПТ показатель



в баллах вычислялся по формуле: $ЛПТ = РШ + РБ + РТ$, где РШ – разница в шероховатости (R_a), балл; РБ – разница в блеске, балл; РТ – разница в толщине, балл.

Определение удельного расхода катафорезной грунтовки, эквивалента осаждения и выхода по кулонам проводилось согласно методикам, описанным в [40, 41]. Смываемость мокрой электрофорезной пленки определялась по [42].

Обсуждение результатов

В первую очередь, после стабилизации растворов катафорезной грунтовки определяли фактическое соотношение пигмент/связующее, удельную электрическую проводимость, концентрацию ионов водорода, массовую долю нелетучих веществ (таблица 1).

Таблица 1. Некоторые показатели катафорезной грунтовки

Соотношение пигмент/связующее		Удельная электрическая проводимость, мкСм/см	Концентрация ионов водорода (рН)	Массовая доля нелетучих веществ, %
расчетное	фактическое			
0.00	0.00	1547	5.39	20.56
0.05	0.04	1552	5.35	20.70
0.10	0.09	1589	5.36	20.40
0.15	0.15	1641	5.34	20.36
0.20	0.19	1559	5.35	20.10
0.25	0.25	1530	5.41	20.36
0.30	0.29	1508	5.36	20.00
0.35	0.36	1631	5.41	20.47
0.40	0.40	1624	5.40	20.19
0.45	0.45	1551	5.37	20.62
0.50	0.48	1520	5.37	20.14

Из таблицы 1 видно, что все перечисленные показатели находятся на одном уровне. Это указывает на то, что составленные композиции могут выступать в качестве модельных систем для изучения влияния соотношения пигмент/связующее на технологические и эксплуатационные свойства разрабатываемой катафорезной грунтовки. Незначительные отклонения параметров обусловлены погрешностью измерительных приборов и методик измерения.

Влияние соотношения пигмент/связующее на технологические параметры.

Из таблицы 2 видно, что рабочее напряжение после введения пигментной пасты в водную композицию (при соотношении пигмент/связующее более 0.05) снижается на 30 В – с 260 до 230 В – и остаётся постоянным при дальнейшем увеличении соотношения. Это обусловлено наличием в композициях пигментов, которые увеличивают электрофоретическую подвижность катафорезной грунтовки, при этом дальнейшее увеличение количества пигментов в составе грунтовки не оказывают влияния на сопротивление мокрой пленки.

Эквивалент осаждения уменьшается с увеличением содержания пигментов в грунтовке. Это свидетельствует об улучшении электрокинетических свойств системы,



что делает процесс осаждения более эффективным. Удельный расход грунтовки возрастает с увеличением содержания пигмента из-за роста плотности покрытия и вязкости состава, что требует большего количества материала для достижения заданной толщины покрытия.

Таблица 2. Технологические свойства катафорезной грунтовки

Соотношение пигмент/связующее										
0.00	0.04	0.09	0.15	0.19	0.25	0.29	0.36	0.40	0.45	0.48
Напряжение нанесения, В										
260	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230
Эквивалент осаждения, Кл/г										
39.0	38.6	36.8	35.8	34.5	34.1	33.5	32.9	32.1	31.9	31.7
Удельный расход, г/м ² ·мкм										
1.38	1.39	1.40	1.41	1.45	1.50	1.57	1.67	1.71	1.74	1.78
Выход по кулонам, Кл/м ² ·мкм										
53.8	53.7	51.5	50.5	50.0	51.2	52.6	54.9	54.9	55.5	56.4

Эффективность электроосаждения катафорезной грунтовки, характеризуемая выходом по кулонам демонстрирует немонотонную зависимость от соотношения пигмент/связующее: на начальной стадии, до соотношения пигмент/связующее 0.20, наблюдается снижение выхода по кулонам за счёт повышения электропроводности суспензии, ускоряющего движение заряженных частиц, и роста плотности частиц, улучшающего их электрофоретическую подвижность. Выше этого критического соотношения выход по кулонам начинает возрастать из-за увеличения вязкости композиции, затрудняющего массоперенос частиц, формирования агрегатов частиц, снижающих эффективную подвижность заряженных компонентов.

Следует отметить, что в результате электроосаждения катафорезной грунтовки при всех соотношениях пигмент/связующее формируются мокрые сплошные пленки, которые не смываются при повторном погружении в ванну электроосаждения.

Оптимальное с технологической точки зрения соотношение пигмент/связующее, обеспечивающее баланс между эффективностью и качеством покрытия, находится в диапазоне 0.10-0.30.

Влияние соотношения пигмент/связующее на эксплуатационные показатели покрытий.

Соотношение пигмент/связующее влияет на декоративные, физико-механические и защитные свойства отвержденных катафорезных покрытий. Результаты исследований приведены в таблице 3.

При соотношении пигмент/связующее до 0.30 покрытия получают однородными и гладкими — без кратеров, пор и морщин. Превышение данного значения приводит к росту вязкости, ухудшению розлива мокрых плёнок и возникновению слабовыраженной шагренни. Дальнейшее увеличение соотношения вызывает появление выраженной шагренни, однако кратеры, поры и морщины по-прежнему не наблюдаются.

Логично, при увеличении соотношения пигмент/связующее катафорезной грунтовки наблюдалась тенденция на снижение блеска покрытия и, соответственно, увеличение средней арифметической (R_a), среднеквадратичной (R_q) шероховатости



покрытия, а также разницы между максимальным и минимальным отклонением профиля (R_z). Это обусловлено увеличением концентрации пигментов на поверхности покрытия, которые образуют микронеровности, рассеивающие падающий свет.

Таблица 3. Эксплуатационные свойства катафорезных покрытий

Соотношение пигмент/связующее										
0.00	0.04	0.09	0.15	0.19	0.25	0.29	0.36	0.40	0.45	0.48
Внешний вид покрытия										
Однородное, гладкое, без кратеров, пор и морщин							Однородное, с легкой шагренью, без кратеров, пор и морщин		Однородное, с шагренью, без кратеров, пор и морщин	
Блеск, единиц блеска, угол измерения 60°										
101-103	86-88	83-85	79-81	75-77	66-68	68-70	59-61	62-64	57-59	48-50
Шероховатость, мкм										
Среднеарифметическая (R _a)										
0.241	0.242	0.240	0.235	0.244	0.258	0.317	0.317	0.382	0.549	0.715
Среднеквадратичная (R _q)										
1.473	1.632	1.535	1.462	1.633	1.781	1.940	2.116	2.229	3.100	4.077
Разница отклонения профиля (R _z)										
0.301	0.305	0.298	0.289	0.314	0.321	0.394	0.392	0.472	0.673	0.872
Цветовые характеристики										
Светлота, L*										
53.56	38.95	37.41	36.96	36.81	36.64	36.65	36.64	36.32	36.42	36.13
a*										
0.69	0.46	-0.33	-0.48	-0.48	-0.47	-0.45	-0.45	-0.42	-0.43	-0.41
b*										
12.41	2.29	-0.51	-1.18	-1.67	-1.82	-2.04	-2.11	-2.24	-2.31	-2.40
C*										
12.42	2.34	0.60	1.27	1.74	1.88	2.09	2.15	2.28	2.35	2.44
h										
86.84	78.65	237.18	247.79	254.13	255.69	257.63	257.84	259.43	259.50	260.40
Л-панель тест, балл										
0	7	11	13	17	18	25	45	53	75	79
Проникающая способность, см										
21.3	20.8	20.9	21.0	20.8	20.9	20.8	20.6	20.5	20.1	19.8
Адгезия методом решетчатых надрезов, балл										
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Прочность при растяжении по Эриксену, мм										
9.5	9.3	9.1	8.4	8.3	7.9	7.5	7.1	6.9	6.4	6.2
Прочность покрытия при ударе, см										
50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Эластичность покрытия при изгибе, мм										
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Твердость покрытия по карандашу										
4H	4H	4H	4H	4H	4H	4H	4H	4H	4H	4H
Стойкость покрытия в камере соляного тумана, ч										
500	620	620	840	1000	1000	1000	840	620	500	500



Исследование цветовых характеристик катафорезных покрытий показало, что при минимальных соотношениях пигмент/связующее (0.00–0.04) формируются лессирующие покрытия с высокой светлотой (L^* 53.56–38.95) и жёлтым оттенком (h 86.84 –78.65), тогда как увеличение доли пигмента до 0.09–0.15 вызывает резкое снижение светлоты до 37.41–36.96 и начало смещения цветового тона в сине-зелёную область (h 237.18 – 247.79). При дальнейшем повышении содержания пигмента (0.19–0.48) светлота стабилизируется на уровне 36.13–36.65, оттенок окончательно смещается в сине-зелёный диапазон (h 254.13 –260.40), а насыщенность цвета снижается — хроматичность (C^*) падает с 12.42 до 2.44. При этом параметр a^* переходит из положительной области (0.69 при 0.00 — красноватый оттенок) в отрицательную (–0.41 при 0.48 — зеленоватый), а параметр b^* уменьшается с 12.41 (жёлтый) до –2.40 (сине-зелёный), что подтверждает комплексное изменение цветового профиля покрытия при росте доли пигмента. Таким образом, начиная с соотношения 0.15 и выше, покрытие приобретает стабильный сине-зеленоватый оттенок с пониженной насыщенностью и постоянной светлотой.

При повышении соотношения пигмент/связующее увеличивается количество баллов по ЛПТ, указывающее о влиянии геометрии окрашиваемой поверхности: возрастает разница в качестве покрытия и количестве осажденной грунтовки на вертикальной и горизонтальной плоскости. Данную особенность следует учитывать при окраске изделий сложной формы. В этом случае необходимо повышать толщину последующих наносимых слоев ЛКМ, чтобы получить однородное покрытие на горизонтальной и вертикальной поверхности изделия.

Введения пигментной пасты в водную композицию приводит к падению проникающей способности грунтовки из-за снижения рабочего напряжения (с 260 до 230 В) и увеличения вязкости композиций.

Прочность покрытия при растяжении снижается при увеличении соотношения пигмент/связующее, что обусловлено увеличением концентрации напряжений в полимерной фазе вокруг твердых частиц пигмента. Другие изученные физико-механические свойства катафорезных покрытий (адгезия, прочность при ударе, эластичность при изгибе и твердость по карандашу) находятся на одном уровне и не зависят от соотношения пигмент/связующее.

Защитные свойства покрытий оценивали по стойкости в камере соляного тумана (таблица 3). При увеличении соотношения пигмент/связующее до 0.29 наблюдается улучшение противокоррозионных свойств покрытия. Это обусловлено наличием пигментов и наполнителей в покрытии, которые создают дополнительный барьер против проникновения коррозионно-активных веществ. Дальнейшее увеличение концентрации пигментов в грунтовке приводит к уменьшению стойкости покрытий в камере соляного тумана. Это связано с ухудшением сплошности покрытия и возникновением микропор и трещин из-за внутренних напряжений, вызванных уменьшением доли связующего.

Выводы

При изучении влияния соотношения пигмент/связующее в составе катафорезной грунтовки на технологические и эксплуатационные свойства формируемых покрытий



установлен оптимальный диапазон его варьирования 0.10–0.30. В этих условиях достигается баланс между эффективностью электроосаждения (выходом по кулонам), удельным расходом и эквивалентом осаждения катафорезной грунтовки. В установленных границах диапазона образуются покрытия, обладающие максимальной стойкостью в камере соляного тумана - 1000 ч с нарезом, а также отличными цветовыми и физико-механическими характеристиками. Полученные данные позволяют подбирать состав грунтовки с учётом требуемых технологических и эксплуатационных свойств.

Финансирование работы

Работа выполнена в рамках проекта «Модифицирование лакокрасочных материалов, не содержащих летучих органических соединений, с целью улучшения технологических и эксплуатационных свойств» по программе развития ЯГТУ в рамках участия в программе Минобрнауки России «Приоритет 2030» в 2026 году.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список источников

1. Крылова И.А., Котлярский Л.Б., Стуль Т.Г. Электроосаждение как метод получения лакокрасочных покрытий. М.: Химия, 1974, 135 с.
2. Квасников М.Ю., Точилкина В.С., Рудковская Л.А., Крылова И.А., Павлихин С.Е. Современное состояние и перспективы развития метода окраски электроосаждением водоразбавляемым ЛКМ. *Промышленная окраска: Технологии. Материалы. Оборудование*, 2008, 4, 6-11.
3. Чурилов Ю.В., Должанская А.М., Силаева А.А., Родионова Н.А., Точилкина Е.О., Квасников М.Ю. Синтез водорастворимых эпоксиаминных олигомеров и получение покрытий на их основе методом катодного электроосаждения. *Журнал Сибирского федерального университета. Химия*, 2022, 14(3), 361-367. DOI: 10.17516/1998-2836-0244. URL: https://elibr.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/144186/08_Churilov.pdf (дата обращения 13.04.2026).
4. 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. URL: https://journal.viam.ru/en/system/files/uploads/pdf/2019/2019_4_7.pdf (дата обращения 13.03.2026).
5. Sen S., Chatterjee A., Ramakanth D., Singh SH., Maji P.K. Recent advances in cathodic electrodeposition coatings with special reference to resin materials: A comprehensive review. *Progress in Organic Coatings*, 2024, 190(23), 108387. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2024.108387.
6. 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. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vybor-podhodyaschego-svyazuyuschego-dlya-plenkoobrazuyuschey-chasti-gruntovki-katodnogo-elektroosazhdeniya/viewer> (дата обращения 05.03.2026).
7. 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. URL: <https://sciup.org/journal-1411104/2020-3-2> (дата обращения 25.12.2024).



8. Акар К.М., Родников Д.Т., Горбунова А.О., Курова Н.В., Малявина Я.М., Силаева А.А. Исследование стабильности водных систем на основе блокированных изоцианатов для применения в катафорезных покрытиях. *Успехи в химии и химической технологии*, 2024, 38(6), 8-10.
9. Чурилов Ю.В., Силаева А.А., Макаров А.В., Должанская А.М. Разработка технологии получения пигментной пасты на основе эпоксиаминного олигомера для получения покрытий методом катодного электроосаждения. *Журнал прикладной химии*, 2022, 95(9), 1137-1142. DOI: 10.31857/S0044461822090055. URL: https://sciencejournals.ru/cgi/getPDF.pl?jid=prikkhim&year=2022&vol=95&iss=9&file=PrikKhim_2209005Churilov.pdf (дата обращения 13.03.2026).
10. Васялина А.А., Ожиганов В.В., Бакунин Д.О., Ильин А.А. Улучшение диспергируемости воднодисперсионной грунтовки. *От химии к технологии шаг за шагом*, 2022, 3(4), 15-18. DOI: 10.52957/27821900_2022_04_15. URL: <https://chemintech.ru/ru/nauka/issue/5030/view> (дата обращения 08.03.2026).
11. 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, 6(2), 57-64. URL: <https://chemintech.ru/ru/nauka/issue/6013/view> (дата обращения 18.04.2026).
12. ГОСТ Р 58144-2018. Вода дистиллированная. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2019, 14 с.
13. ГОСТ 25271-93. Пластмассы. Смолы жидкие, эмульсии или дисперсии. Определение кажущейся вязкости по Брукфильду. М.: Издательство стандартов, 1994, 14 с.
14. ГОСТ 31939-2012. Лакокрасочные материалы. Определение массовой доли нелетучих веществ. М.: Стандартинформ, 2014, 12 с.
15. ГОСТ 31992.1-2012. Материалы лакокрасочные. Метод определения плотности. Часть 1. Пикнометрический метод. М.: Стандартинформ, 2013, 12 с.
16. ГОСТ 6356-75. Нефтепродукты. Метод определения температуры вспышки в закрытом тигле. М.: Издательство стандартов, 1994, 7 с.
17. ГОСТ 33290-2023. Материалы лакокрасочные, применяемые в строительстве. Общие технические условия. М.: Российский институт стандартизации, 2023, 20 с.
18. ГОСТ 21119.7-75. Красители органические и пигменты неорганические. Метод определения удельной электрической проводимости водной вытяжки. М.: ИПК Издательство стандартов, 1999, 2 с.
19. ГОСТ 31973-2013. Материалы лакокрасочные. Метод определения степени перетира. М.: Стандартинформ, 2014, 11 с.
20. ISO 22553-16:2022. Paints and varnishes — Electro-Deposition coatings, Part 16: Pigment-binder ratio. G.: International Organization for Standardization, 2022, pp.4.
21. ГОСТ 8832-2024. Материалы лакокрасочные. Методы получения лакокрасочного покрытия для испытания. М.: Российский институт стандартизации, 2024, 12 с.
22. ГОСТ 16523-97. Прокат тонколистовой из углеродистой стали качественной и обыкновенного качества общего назначения. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2008, 16 с.
23. Овчинникова В.В., Нефедов Н.И., Мазурова Д.В., Абрашов А.А. Исследование влияния способов обработки поверхности на антикоррозийные свойства катафорезного покрытия на основе грунтовки HR-4000ALB/HR-6000. *Успехи в химии и химической технологии*, 2023, 37 (6), 94-96.
24. 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.
25. ГОСТ 5632-2014. Легированные нержавеющие стали и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки. М.: Стандартинформ, 2015, 52 с.
26. ГОСТ Р 51691-2008. Материалы лакокрасочные. Эмали. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2009, 15 с.
27. ГОСТ 31993-2013. Материалы лакокрасочные. Определение толщины покрытия. М.: Стандартинформ, 2014, 16 с.
28. ГОСТ 29309-92. Покрытие лакокрасочные. Определение прочности при растяжении. М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. 7 с.



29. ГОСТ 4765-2024. Материалы лакокрасочные. Метод определения прочности покрытия при ударе. М.: ФГБУ «Институт стандартизации», 2024, 12 с.
30. ГОСТ 31149-2014. Материалы лакокрасочные. Определение адгезии методом решетчатого надреза. М.: Стандартиформ, 2014, 16 с.
31. ГОСТ 31975-2017. Материалы лакокрасочные. Метод определения блеска лакокрасочных покрытий под углом 20°, 60°, 85°. М.: Стандартиформ, 2017, 24 с.
32. ГОСТ Р 71448-2024. Оптика и фотоника. Шероховатость поверхности. Параметры и типы направлений неровностей поверхности. М.: ФГБУ «Институт стандартизации», 2025, 12 с.
33. ГОСТ 19300-86. Средства измерений шероховатости поверхности профильным методом. Профилографы-профилометры контактные. Типы и основные параметры. М.: ИПК Издательство стандартов, 1996. 11 с.
34. ГОСТ 6806-2024. Материалы лакокрасочные. Метод определения эластичности пленки при изгибе. М.: ФГБУ «Институт стандартизации», 2024, 13 с.
35. ГОСТ Р 71216-2024. Материалы лакокрасочные. Колориметрия. Измерение цвета. Расчет цветовых различий и индекса метамерии. М.: ФГБУ «Институт стандартизации», 2024, 33 с.
36. ГОСТ Р 54586-2011. Материалы лакокрасочные. Метод определения твердости покрытия по карандашу. М.: ФГУП «Стандартиформ», 2012, 12 с.
37. ГОСТ Р 9.413-2007 Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Покрытия лакокрасочные. Определение проникающей способности водоразбавляемых лакокрасочных материалов при электроосаждении. М.: ФГУП «Стандартиформ», 2020, 12 с.
38. 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.
39. ISO 22553-16:2022. Paints and varnishes — Electro-Deposition coatings, Part 12: Sedimentation on horizontal areas. G.: International Organization for Standardization, 2020, pp.12.
40. ISO 22553-14:2022. Paints and varnishes — Electro-Deposition coatings, Part 14: Determination of deposition behaviour. G.: International Organization for Standardization, 2021, pp.6.
41. Брок Т., Гротэклаус М., Мишке П. Европейское руководство по лакокрасочным материалам и покрытиям. М.: Пэйнт-Медиа, 2015, 378 с.
42. ISO 22553-13:2022. Paints and varnishes — Electro-Deposition coatings, Part 13: Determination of re-solving behaviour. G.: International Organization for Standardization, 2021, pp.6.

Поступила в редакцию 02.07.2026

Одобрена после рецензирования 30.07.2026

Принята к опубликованию 11.08.2026