

УДК 614.841.45

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-3\(42\)-28-46](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-3(42)-28-46)

EDN: TLKAPC

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ В ПРОЦЕССЕ УСКОРЕННОГО КЛИМАТИЧЕСКОГО СТАРЕНИЯ

М.А. КОМАРОВА¹, канд. хим. наук

И.А. ГРИШИН¹

Н.О. МЕЛЬНИКОВ^{1,2,✉}, канд. техн. наук

М.В. ШАЛАБИН¹

М.И. ВЕДЯКОВ^{1,3}

¹ Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций (ЦНИИСК) им. В.А. Кучеренко
АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, к. 1, г. Москва, 109428, Российская Федерация

² Российский химико-технологический университет (РХТУ) им. Д.И. Менделеева, Миусская площадь, д. 9, стр. 1,
г. Москва, 125047, Российская Федерация

³ ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
(НИУ МГСУ), Ярославское шоссе, д. 26, г. Москва, 129337, Российская Федерация

Аннотация

Введение. Одним из важнейших параметров при обеспечении пожарной безопасности является гарантийный или прогнозируемый срок эксплуатации огнезащитного покрытия в зависимости от условий службы. Срок эксплуатации, или долговечность, можно определить как способность огнезащитного покрытия противостоять внешним воздействиям, т. е. оставаться неизменным и сохранять эффективность при воздействии окружающей среды и различных неблагоприятных факторов. Натурное подтверждение долговечности покрытий занимает длительное время, поэтому актуальным является проведение испытания по ускоренным методикам.

Цель. Апробация методов испытаний для определения стойкости к воздействию климатических факторов при старении в условиях открытой промышленной атмосферы (ХЛ1, УХЛ1 по ГОСТ 15150-69) и сохранности эффективности покрытий стальных строительных конструкций в процессе эксплуатации на примере современного огнезащитного покрытия.

Материалы и методы. В работе проведено циклическое искусственное старение образцов огнезащитного покрытия на 5, 15 и 25 лет по методу 6 ГОСТ 9.401-2018 и оценена стойкость к воздействию климатических факторов и сохранность огнезащитных свойств в процессе эксплуатации двумя методами: термическим анализом по ГОСТ Р 53293-99 и огнезащитной эффективностью по ГОСТ Р 53295-2009. Для исследования применялись пластины из листовой стали марки 08кп и 08пс по ГОСТ 16523-97 и ГОСТ 9045-93 размером 600 × 600 × 5 мм с нанесенным на нее с лицевой стороны средством огнезащиты в составе антикоррозионной грунтовки «ДЕКОПОКС-ФАСТ» толщиной сухого слоя 80 мкм, атмосферостойкой огнезащитной краски «ДЕКОТЕРМ-ХРОМ-Р» толщиной сухого слоя 870 мкм и финишным покрытием двухкомпонентной полиуретановой грунт-эмалью «ДЕКОПУР-ФЛЕКС» толщиной сухого слоя 50 мкм.

Результаты. Установлено, что огнезащитная эффективность с увеличением количества циклов искусственного старения несколько снижается и составляет 12 % в сторону уменьшения от контрольного образца при 224 циклах (25 лет).

Выводы. Прогнозируемый срок службы исследуемой системы покрытия в условиях открытой промышленной атмосферы (ХЛ1, УХЛ1) с сохранением огнезащитной эффективности при условии соблюдения всех требований технологического процесса получения покрытия составляет не менее 25 лет.

Ключевые слова: огнезащитные покрытия, огнезащитная эффективность, термический анализ, воздействие климатических факторов, сохранение огнезащитных свойств

Для цитирования: Комарова М.А., Гришин И.А., Мельников Н.О., Шалабин М.В., Ведяков М.И. Оценка эффективности огнезащитных покрытий в процессе ускоренного климатического старения. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2024;42(3):28–46. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-3\(42\)-28-46](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-3(42)-28-46)

Вклад авторов

Все авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

Финансирование

Исследование выполнено в рамках договорных работ между АО «НИЦ «Строительство» и ООО «Деко».

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 04.07.2024

Поступила после рецензирования 05.08.2024

Принята к публикации 08.08.2024

EFFICIENCY ASSESSMENT OF FLAME RETARDANT COATINGS IN THE PROCESS OF ACCELERATED CLIMATIC AGING

M.A. KOMAROVA¹, Cand. Sci. (Chem.)

I.A. GRISHIN¹

N.O. MELNIKOV^{1,2,✉}, Cand. Sci. (Engineering)

M.V. SHALABIN¹

M.I. VEDYAKOV^{1,3}

¹ Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 1, Moscow, 109428, Russian Federation

² D.I. Mendeleev Russian University of Chemical Technology, Miusskaya square, 9, bld. 1, Moscow, 125047, Russian Federation

³ Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation

Abstract

Introduction. The warranty or predicted service life of the flame retardant coatings, depending on the service conditions, is a crucial parameter in ensuring fire safety. Service life, or durability, can be defined as the ability of the flame retardant coating to resist external influences, i.e., to remain unchanged and retain its efficiency under climatic and various adverse factors. Since full-scale testing of the coatings' durability is time consuming, accelerated testing methods are relevant.

Aim. To test methods for determining the resistance to climatic factors during aging in an open industrial atmosphere (HL1 (cold), UHL1 (moderate and cold macroclimatic regions) according to State Standard 15150-69). In addition, to test the efficiency of coatings of steel building structures under operation on the example of a modern fire retardant coating.

Materials and methods. The samples of the flame retardant coating were cyclically aged for 5, 15, and 25 years according to method 6 of State Standard 9.401-2018. The resistance to climatic factors and preservation of flame retardant characteristics during operation was evaluated according to State Standards R 53293-99 and R 53295-2009. The plates made of 08kp and 08ps steel sheets according to State Standards 16523-97 and 9045-93 in the size of 600 × 600 × 5 mm with a flame retardant applied to it from the front side

as an anticorrosive primer “DEKOPOKS-FAST” with a dry layer thickness of 80 microns, weather-resistant flame retardant paint “DEKOTHERM-KHR0M-R” with a dry layer thickness of 870 microns and finish coating with two-component polyurethane primer-enamel “DEKOPUR-FLEX” with a dry layer thickness of 50 microns.

Results. The flame retardant efficiency was found to decrease slightly with increasing number of artificial aging cycles and amount to 12 % downward from the control sample at 224 cycles (25 years).

Conclusions. The predicted service life of the investigated coating system in open industrial atmosphere (HL1, UHL1) with preservation of the flame retardant efficiency if all requirements of the technological process of obtaining the coating are met is not less than 25 years.

Keywords: flame retardant coatings, flame retardant efficiency, thermal analysis, exposure to climatic factors, preservation of flame retardant characteristics

For citation: Komarova M.A., Grishin I.A., Melnikov N.O., Shalabin M.V., Vedyakov M.I. Efficiency assessment of flame retardant coatings in the process of accelerated climatic aging. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2024;42(3):28–46. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-3\(42\)-28-46](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-3(42)-28-46)

Authors contribution statement

All authors made equal contributions to the study and the publication.

Funding

The research was carried out within a contract between JSC Research Center of Construction and LLC “Deko”.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 04.07.2024

Revised 05.08.2024

Accepted 08.08.2024

Введение

В настоящее время средства огнезащиты для строительных конструкций используются повсеместно в большом объеме с целью обеспечения нормируемых требований пожарной безопасности зданий и сооружений.

В соответствии с ТР ЕАЭС 043/2017 [1] техническая документация на средства огнезащиты должна содержать информацию о технических показателях, характеризующих область их применения, способ подготовки поверхности, виды и марки грунтовок, способ нанесения на защищаемую поверхность, условия сушки, огнезащитную эффективность этих средств, способ защиты от неблагоприятных климатических воздействий, условия и срок эксплуатации огнезащитных покрытий, меры безопасности при проведении огнезащитных работ, а также порядок транспортирования и хранения.

Одним из важнейших параметров при обеспечении пожарной безопасности является гарантийный или прогнозируемый срок эксплуатации огнезащитного покрытия в зависимости от условий службы. Срок эксплуатации или долговечность можно определить как способность огнезащитного покрытия противостоять внешним воздействиям, т.е. оставаться неизменным и сохранять эффективность при воздействии окружающей среды и различных неблагоприятных факторов.

В настоящее время отсутствуют нормативные документы в области пожарной безопасности, регламентирующие подтверждение сохранения свойств огнезащитных покрытий в процессе

эксплуатации, а также определение гарантийного срока их эксплуатации, который, за редкими исключениями, не проверяется производителями, а предполагается исходя из опыта применения такого рода покрытий. Нет и системы подтверждения соответствия покрытий заявленным требованиям пожарной безопасности по истечении срока эксплуатации в зависимости от условий окружающей среды. Это связано также с недостаточностью данных по старению различного рода огнезащитных покрытий и с проведением научно-исследовательских работ в данной области.

Так как натурные испытания занимают длительное время, наиболее целесообразно проводить испытания по ускоренным методикам. Старение покрытий в лабораторных условиях проводят в установках искусственной погоды (климатических камерах) с имитацией воздействия знакопеременных температур и влажности, солнечной радиации и при необходимости химически агрессивной атмосферы.

Ранее в работе [2] были представлены разработанные методы ускоренных климатических испытаний тонкослойных вспучивающихся и конструктивных огнезащитных покрытий, оценки свойств и их сохранности методами термического анализа и огнезащитной эффективности. На их основе специалистами НЭБ ПБС ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко подготовлен проект национального стандарта «Конструкции стальные строительные с огнезащитными покрытиями. Методы испытаний антикоррозионных свойств и стойкости к воздействию климатических факторов в процессе эксплуатации». Стандарт находится на стадии введения в действие и может быть использован при определении гарантийного срока эксплуатации огнезащитных покрытий стальных строительных конструкций, при этом он не распространяется на определение их пределов огнестойкости.

Данная работа посвящена апробации методики и оценки сохранения огнезащитных свойств при климатическом старении в условиях открытой промышленной атмосферы (ХЛ1, УХЛ1 по ГОСТ 15150-69 [3]) на примере современного огнезащитного покрытия.

Объектом исследования является огнезащитное покрытие в составе:

- антикоррозионная грунтовка «ДЕКОПОКС-ФАСТ» (ТУ 2312-015-12943630-2017) толщиной сухого слоя 80 мкм;
- атмосферостойкая огнезащитная краска «ДЕКОТЕРМ-ХРОМ-Р» (ТУ 2317-005-12943630-2016) толщиной сухого слоя 870 мкм;
- финишное покрытие – двухкомпонентная полиуретановая грунт-эмаль «ДЕКОПУР-ФЛЕКС» (ТУ 2312-014-12943630-2017) толщиной сухого слоя 50 мкм.

В качестве образцов используются стальные пластины из листовой стали марки 08кп и 08пс по ГОСТ 16523-97 [4] и ГОСТ 9045-93 [5] размером 600 × 600 × 5 мм с нанесенным с лицевой стороны огнезащитным покрытием. Допустимые отклонения по ширине и длине стальной пластины не превышают ± 5 мм, а по толщине – ± 0,5 мм. Обратная сторона и кромки пластин окрашены шпатлевкой ЭП-0010 по ГОСТ 28379-89 [6], которая обеспечивает защиту окрашиваемой поверхности в течение всего срока климатических испытаний. Для проведения испытаний использовали четыре образца. Один из них – контрольный, который не подвергался воздействию ускоренных климатических факторов.

Методы испытания

Согласно программе испытаний проводилось циклическое искусственное старение образцов по методу 6 ГОСТ 9.401-2018 [7], после чего осуществлялась оценка стойкости огнезащитных покрытий к воздействию климатических факторов и сохранности огнезащитных свойств в процессе эксплуатации двумя методами: термическим анализом по ГОСТ Р 53293-99 [8] и огнезащитной эффективностью по ГОСТ Р 53295-2009 [9].

Искусственное старение проводили на 5, 15 и 25 лет. На рис. 1 представлен внешний вид образцов в климатической камере перед началом испытаний.

Режим испытаний, последовательность перемещения и время выдержки образцов в аппаратах в одном цикле приведены в табл. 1.

Визуальную оценку состояния покрытия после искусственного старения проводили по п. 9 ГОСТ 9.407-2015 [10]. При визуальном осмотре состояния покрытия оценивались виды разрушений, характеризующие декоративные и защитные свойства: растрескивание,



Рис. 1. Образцы в климатической камере TH-225 С перед началом испытаний
Fig. 1. Samples in the climatic chamber TH-225 C before testing

Таблица 1

Режим испытаний, последовательность перемещения и время выдержки образцов в аппаратах

Table 1

Test mode, sequence of movement, and exposure time of samples in the apparatuses

Аппаратура	Параметры испытаний		Время выдержки образцов в одном цикле, ч
	Температура, °C	Относительная влажность, %	
Камера климатическая ТН-225 С, заводской номер LP 202209ТН008	40 ± 2	97 ± 3	2
Испытательная камера с напуском сернистого газа SO ₂ LRHS-297-RS02, заводской номер LP20-1351 [концентрация SO ₂ [5+1] мг/м ³]	40 ± 2	97 ± 3	2
Камера климатическая ТН-225 С, заводской номер LP 202209ТН008	Минус [30 ± 3]	Не нормируется	6
УФ-камера для испытаний на атмосферостойкость UV-ST-260, заводской номер LP 202209UV008, режим: 3 минуты орошения, 17 минут без орошения	60 ± 3	Не нормируется	5
Камера климатическая ТН-225 С, заводской номер LP 202209ТН008	Минус [60 ± 3]	Не нормируется	3
Выдержка на воздухе	15–30	Не более 80	6
ИТОГО			24

отслаивание, образование пузырей, растворение, сморщивание, коррозия металла, изменение цвета, меление и грязеудержание.

Допустимый уровень ухудшения защитных свойств должен быть не более 3 баллов (А33) по ГОСТ 9.407-2015 [10]. При этом площадь разрушения покрытия не должна превышать 15 % поверхности изделия, площадь коррозионного разрушения – не более 1 %.

Оценку прогнозируемого срока службы выполняли по п. 6.5.9 ГОСТ 9.401-2018 [7]. Коэффициент ускорения, K_u , принимался равным 41 для условий ХЛ1, УХЛ1.

Оценку сохранности огнезащитных свойств методами термического анализа, подготовку образцов и проведение испытаний выполняют согласно ГОСТ Р 53293-99 [8].

Для получения идентификационных характеристик образцов применяли автоматизированный прибор термического анализа, имеющий программное обеспечение для обработки результатов, термоанализатор синхронный модификации STA 449 F5 Jupiter STA, 60486-15, заводской номер STA449F5B-0328-M.

Условия проведения термического анализа представлены в табл. 2.

По результатам термического анализа определяются следующие значимые идентификационные характеристики:

- потеря массы при температурах: 200, 300, 400, 500 °C (по ТГ-кривым);
- зольный остаток при температуре 1000 °C (по ТГ-кривым);
- температура при потере массы: 5, 10, 20, 30, 50 % (по ТГ-кривым);
- температура максимума скорости потери массы (по ДТГ-кривым);
- максимальная скорость потери массы (по ДТГ-кривым).

Таблица 2

Условия проведения термического анализа

Table 2

Requirements for thermal analysis

Условия испытаний	Используемый метод (модуль)
	ТГ
Термопара (материал)	платина/платино-родий
Тигель (материал, объем)	корунд, 1 см ³
Масса образца, мг	10
Форма образца	порошок
Атмосфера	аргон
Расход газа, мл/мин	30
Скорость нагрева, °С/мин	10
Конечная температура нагрева, °С	1000

По результатам термического анализа проводится оценка сохранности огнезащитных свойств по ряду критериев. По характеристикам термоаналитических кривых и расчетным данным покрытие сохраняет свои огнезащитные свойства при соблюдении следующих условий: зависимости термогравиметрические (ТГ), термогравиметрические по производной (ДТГ) имеют подобный вид, соответственно совпадает количество интервалов деструкции и совпадает количество пиков ДТГ.

Оценка огнезащитной эффективности покрытий проводится по п. 6 ГОСТ Р 53295-99 [8]. Сущность метода заключается в одностороннем тепловом воздействии на образец и определении времени от начала теплового воздействия на образец до наступления предельного состояния этого образца. Режим теплового воздействия задается в соответствии с ГОСТ 30247.0-94 [11].

В процессе проведения испытаний регистрируются следующие показатели:

- время достижения металлом испытанного образца предельного состояния – температуры, равной 500 °С (среднее значение по показаниям трех термопар);
- изменение температуры в печи;
- поведение огнезащитного покрытия (вспучивание, обугливание, отслоение, выделение дыма, продуктов горения и т. д.);
- изменение температуры на необогреваемой поверхности испытанного образца.

За положительный результат испытаний принимается время достижения предельного состояния металлом испытанного образца после ускоренных климатических испытаний, отличающееся от результатов испытаний образца исходного без старения менее чем на 20 % в сторону уменьшения.

Результаты ускоренных климатических испытаний

Внешний вид покрытий после ускоренных климатических испытаний представлен на рис. 2–4. Оценку состояния проводят при помощи микроскопа (рис. 5).

Обобщенные результаты ускоренных климатических испытаний приведены в табл. 3.

По результатам оценки декоративных и защитных свойств прогнозируемый срок службы покрытия составляет не менее 25 лет.



Рис. 2. Состояние покрытия после 45 циклов старения
Fig. 2. The coating after 45 aging cycles



Рис. 3. Состояние системы покрытия после 134 циклов старения
Fig. 3. The coating system after 134 aging cycles



Рис. 4. Состояние системы покрытия после 224 циклов старения
Fig. 4. The coating system after 224 aging cycles



Рис. 5. Оценка состояния поверхности покрытия после 224 циклов старения
Fig. 5. Assessment of the coating surface after 224 aging cycles

Таблица 3

Результаты ускоренных климатических испытаний

Table 3

Results of accelerated climatic tests

Наименование показателя	НД на метод	Кол-во циклов	Состояние покрытия	Результат, лет
Срок службы	ГОСТ 9.401-2018 [7]	45	без изменений (рис. 2)	5
		134	без изменений (рис. 3)	15
		224	АД2, А30, Ц2 – слабое посветление (рис. 4)	25

Оценка сохранности огнезащитных свойств методами термического анализа

Термоаналитические кривые образцов представлены на рис. 6–9. ТГ-кривая потери массы изображена сплошной линией. ДТГ-кривая скорости потери массы представлена штрихпунктирной линией.

По результатам термического анализа были определены значимые идентификационные характеристики, представленные в табл. 4–7.

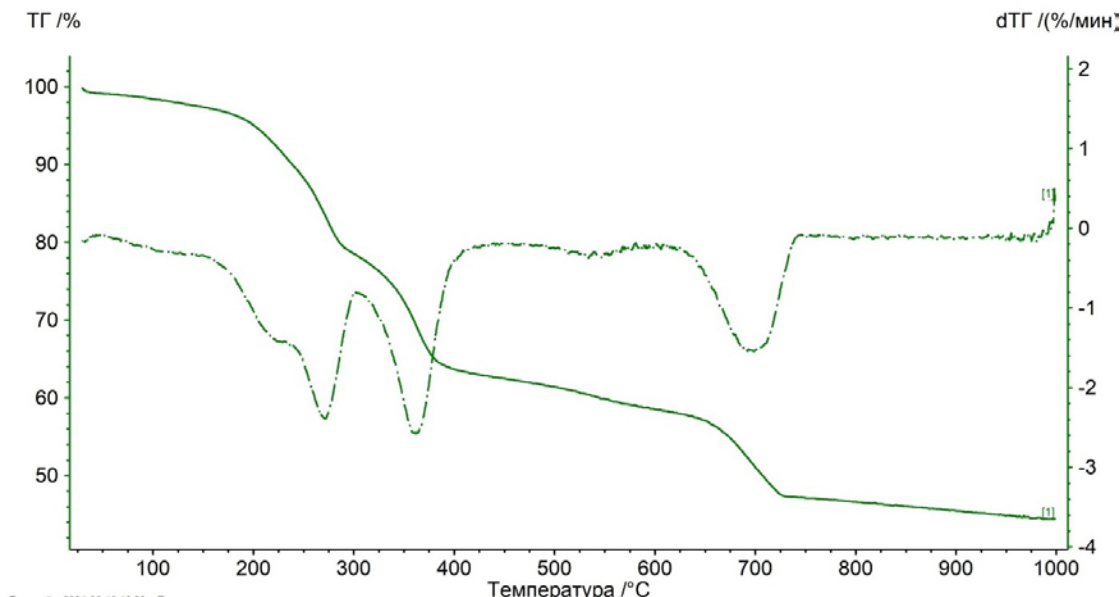


Рис. 6. Термоаналитические кривые контрольного образца без старения
Fig. 6. Thermal analytical curves of the control unaged sample

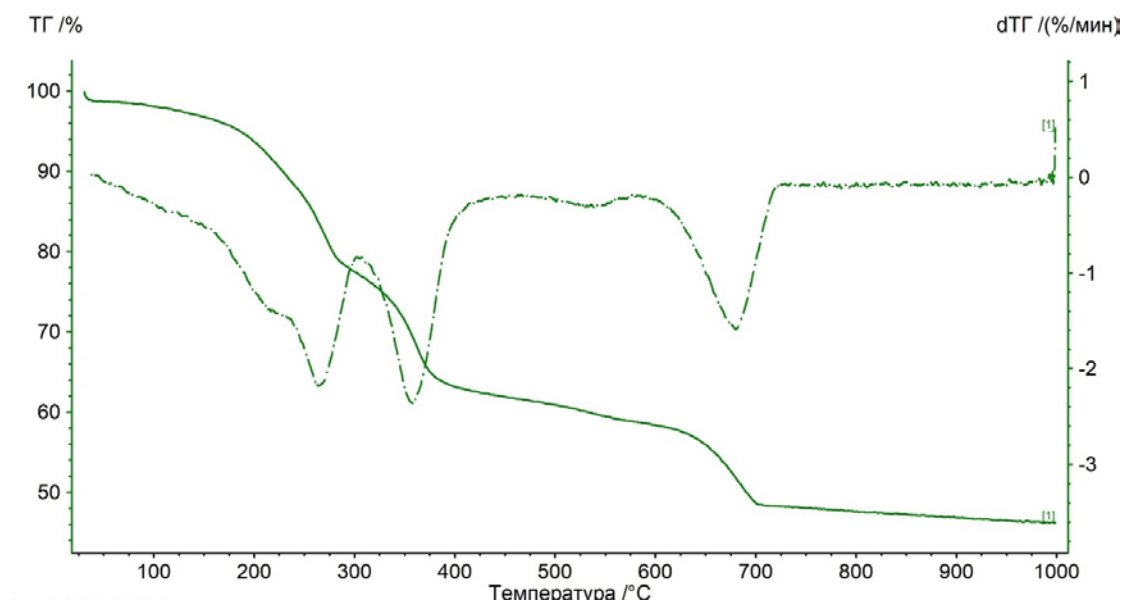


Рис. 7. Термоаналитические кривые образца после 45 циклов старения
Fig. 7. Thermal analytical curves of the sample after 45 aging cycles

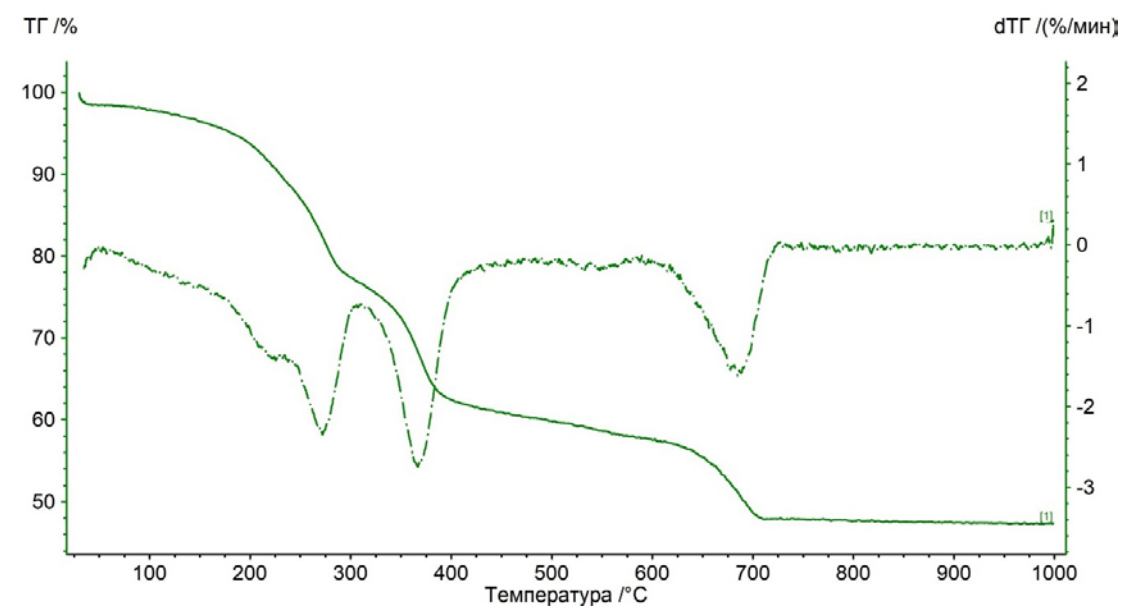


Рис. 8. Термоаналитические кривые образца после 134 циклов старения
Fig. 8. Thermal analytical curves of the sample after 134 aging cycles

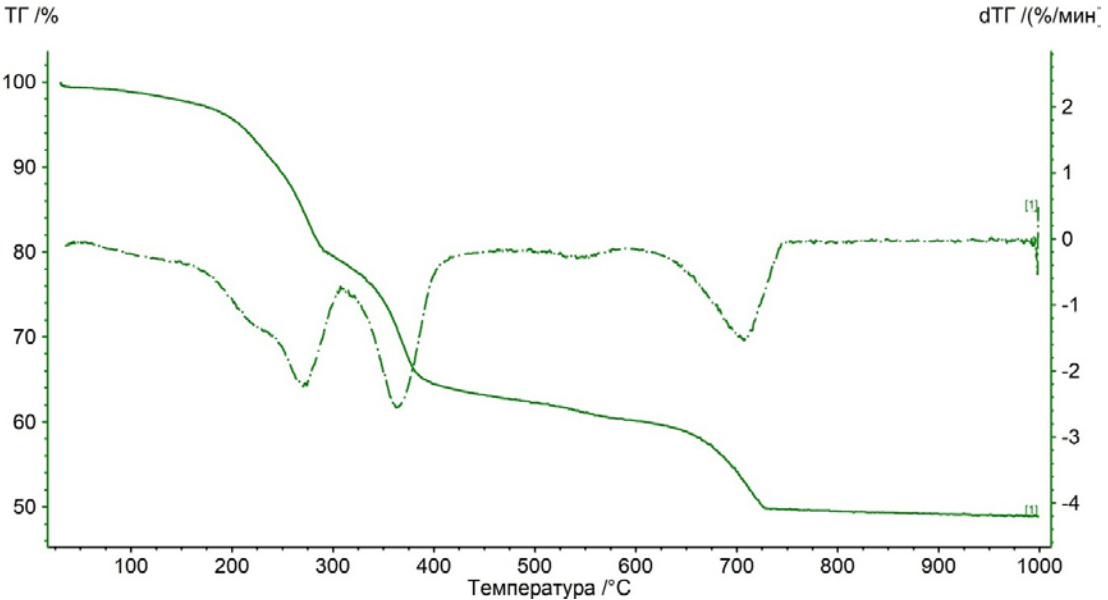


Рис. 9. Термоаналитические кривые образца после 224 циклов старения
Fig. 9. Thermal analytical curves of the sample after 224 aging cycles

Таблица 4

Значимые идентификационные характеристики термического анализа контрольного образца без старения

Table 4

Significant identification characteristics of thermal analysis of the control unaged sample

	Потеря массы, Δm , %, при температуре, °C				Зольный остаток, %, (1000 °C)
	Δm_{200}	Δm_{300}	Δm_{400}	Δm_{500}	
Δm_{cp}	5,41	21,44	36,31	38,73	44,44
б	0,08	0,35	0,08	0,11	0,09
б ²	0,01	0,12	0,01	0,01	0,01
Температура, °C, при потере массы	$T_{5\%}$	$T_{10\%}$	$T_{20\%}$	$T_{30\%}$	$T_{50\%}$
T_{cp}	189,65	234,65	284,65	359,65	704,65
б	1,2	1,5	2,5	1,8	1,4
б ²	1,4	3,0	6,3	3,2	2,8
Характеристика максимумов ДТГ-пиков в температурном интервале (температура максимума, T_{max} /максимальная скорость потери массы, A_{max} , %/мин)					
Интервал, °C	200–400		300–500		500–700
$T_{max\ cp}$	271,80/2,39		361,92/2,58		691,21/1,55
б	1,5/0,57		1,4/1,21		1,3/1,52
б ²	8,6/0,20		1,4/0,29		1,6/0,45

Таблица 5

Значимые идентификационные характеристики термического анализа образца после 45 циклов старения

Table 5

Significant identification characteristics of thermal analysis of the sample after 45 aging cycles

	Потеря массы, Δm , %, при температуре, °C				Зольный остаток, %, (1000 °C)
	Δm_{200}	Δm_{300}	Δm_{400}	Δm_{500}	
Δm_{cp}	6,47	22,59	36,88	39,11	46,26
б	0,08	0,35	0,08	0,11	0,09
б ²	0,01	0,12	0,01	0,01	0,01
Температура, °C, при потере массы	$T_{5\%}$	$T_{10\%}$	$T_{20\%}$	$T_{30\%}$	$T_{50\%}$
T_{cp}	171,33	226,33	276,33	356,33	686,33
б	1,2	1,5	2,5	1,8	1,4
б ²	1,4	3,0	6,3	3,2	2,8
Характеристика максимумов ДТГ-пиков в температурном интервале (температура максимума, T_{max} /максимальная скорость потери массы, A_{max} , %/мин)					
Интервал, °C	200–400		300–500		500–700
$T_{max\ cp}$	264,66/2,18		358,17/2,36		679,72/1,59
б	1,5/0,57		1,4/1,21		1,3/1,52
б ²	8,6/0,20		1,4/0,29		1,6/0,45

Таблица 6

Значимые идентификационные характеристики термического анализа образца после 134 циклов старения

Table 6

Significant identification characteristics of thermal analysis of the sample after 134 aging cycles

	Потеря массы, Δm , %, при температуре, °C				Зольный остаток, %, (1000 °C)
	Δm_{200}	Δm_{300}	Δm_{400}	Δm_{500}	
Δm_{cp}	6,35	22,64	37,58	40,23	47,35
б	0,08	0,35	0,08	0,11	0,09
б ²	0,01	0,12	0,01	0,01	0,01
Температура, °C, при потере массы	$T_{5\%}$	$T_{10\%}$	$T_{20\%}$	$T_{30\%}$	$T_{50\%}$
T_{cp}	165,65	225,65	280,65	360,65	690,65
б	1,2	1,5	2,5	1,8	1,4
б ²	1,4	3,0	6,3	3,2	2,8
Характеристика максимумов ДТГ-пиков в температурном интервале (температура максимума, T_{max} /максимальная скорость потери массы, A_{max} , %/мин)					
Интервал, °C	200–400		300–500		500–700
$T_{max\ cp}$	272,08/2,34		366,80/2,74		684,73/1,62
б	1,5/0,57		1,4/1,21		1,3/1,52
б ²	8,6/0,20		1,4/0,29		1,6/0,45

Таблица 7

Значимые идентификационные характеристики термического анализа образца после 224 циклов старения

Table 7

Significant identification characteristics of thermal analysis of the sample after 224 aging cycles

	Потеря массы, Δm , %, при температуре, °C				Зольный остаток, %, (1000 °C)
	Δm_{200}	Δm_{300}	Δm_{400}	Δm_{500}	
Δm_{cp}	4,35	20,48	35,55	37,76	48,96
Б	0,08	0,35	0,08	0,11	0,09
Б ²	0,01	0,12	0,01	0,01	0,01
Температура, °C, при потере массы	$T_{5\%}$	$T_{10\%}$	$T_{20\%}$	$T_{30\%}$	$T_{50\%}$
T_{cp}	200,13	240,13	290,13	365,13	720,13
Б	1,2	1,5	2,5	1,8	1,4
Б ²	1,4	3,0	6,3	3,2	2,8
Характеристика максимумов ДТГ-пиков в температурном интервале (температура максимума, T_{max} /максимальная скорость потери массы, A_{max} , %/мин)					
Интервал, °C	200–400		300–500		500–700
$T_{max\ cp}$	270,49/2,24		362,86/2,56		709,00/1,54
Б	1,5/0,57		1,4/1,21		1,3/1,52
Б ²	8,6/0,20		1,4/0,29		1,6/0,45

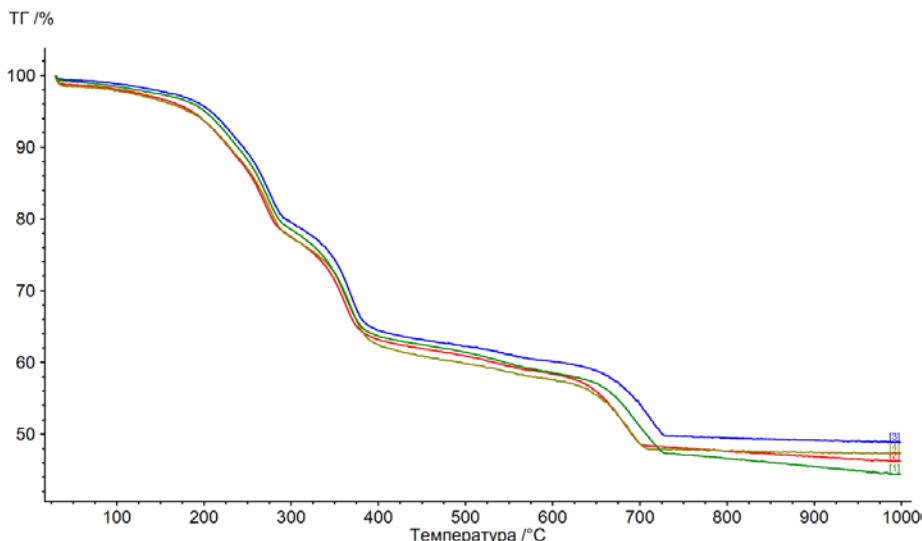


Рис. 10. ТГ-кривые образцов огнезащитного покрытия:

синяя линия – контрольный без старения; салатовая линия – после 45 циклов старения;

красная линия – после 134 циклов старения; зеленая линия – после 224 циклов старения

Fig. 10. TG-curves of the flame retardant coating samples:

blue line – control without aging; pale green line – after 45 aging cycles; red line – after 134 aging cycles;

green line – after 224 aging cycles

Анализ идентификационных термоаналитических характеристик огнезащитного покрытия контрольного образца и состаренных образцов в температурном интервале испытаний показал следующее:

- подобие сравниваемых термоаналитических кривых во всем температурном интервале сравнения (рис. 10);
- при сравнении значимых идентификационных характеристик исследованных огнезащитных покрытий с использованием экспериментально полученных и теоретически рассчитанных статистических критериев существенных расхождений не обнаружено.

На основании вышеизложенного можно заключить, что по термоаналитическим характеристикам огнезащитные свойства покрытия контрольного и состаренных образцов идентичны.

Оценка сохранности огнезащитной эффективности

Зависимости изменения температуры в печи и на образцах при испытаниях по ГОСТ Р 53295-2009 [9] представлены на рис. 11.

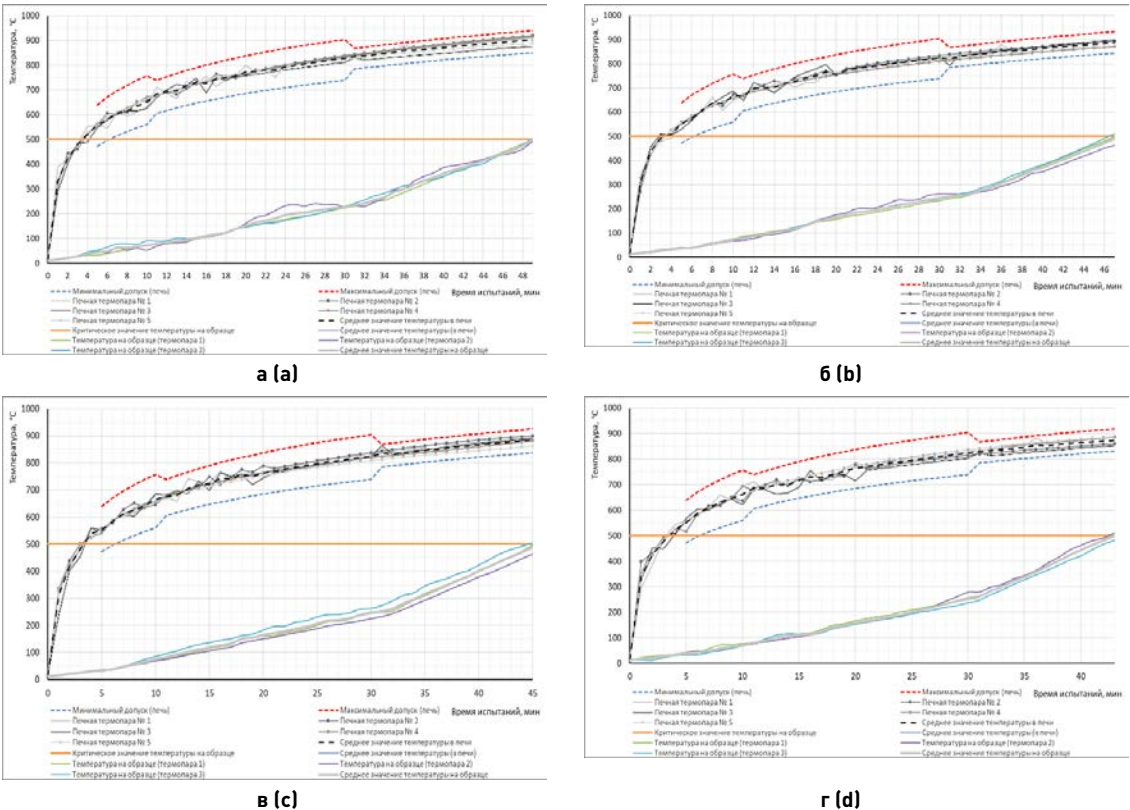


Рис. 11. Изменение температуры в печи и на образце в процессе испытания:
а – контрольный без старения; б – после 45 циклов старения; в – после 134 циклов старения;
г – после 224 циклов старения

Fig. 11. Temperature change in the furnace and on the sample during the test:
a – control without aging; b – after 45 aging cycles; c – after 134 aging cycles; d – after 224 aging cycles

Внешний вид образцов после огневых испытаний представлен на рис. 12.

По результатам испытаний установлено, что время достижения критической температуры 500 °С на образцах составило: контрольный без старения – 49 мин; после 45 циклов старения – 47 мин; после 134 циклов старения – 45 мин; после 224 циклов старения – 43 мин.

При анализе полученных данных установлено, что огнезащитная эффективность с увеличением количества циклов искусственного старения несколько снизилась и составила 12 % в сторону уменьшения от контрольного образца при 224 циклах. То есть можно прогнозировать сохранение огнезащитной эффективности в течение 25 лет эксплуатации покрытия.

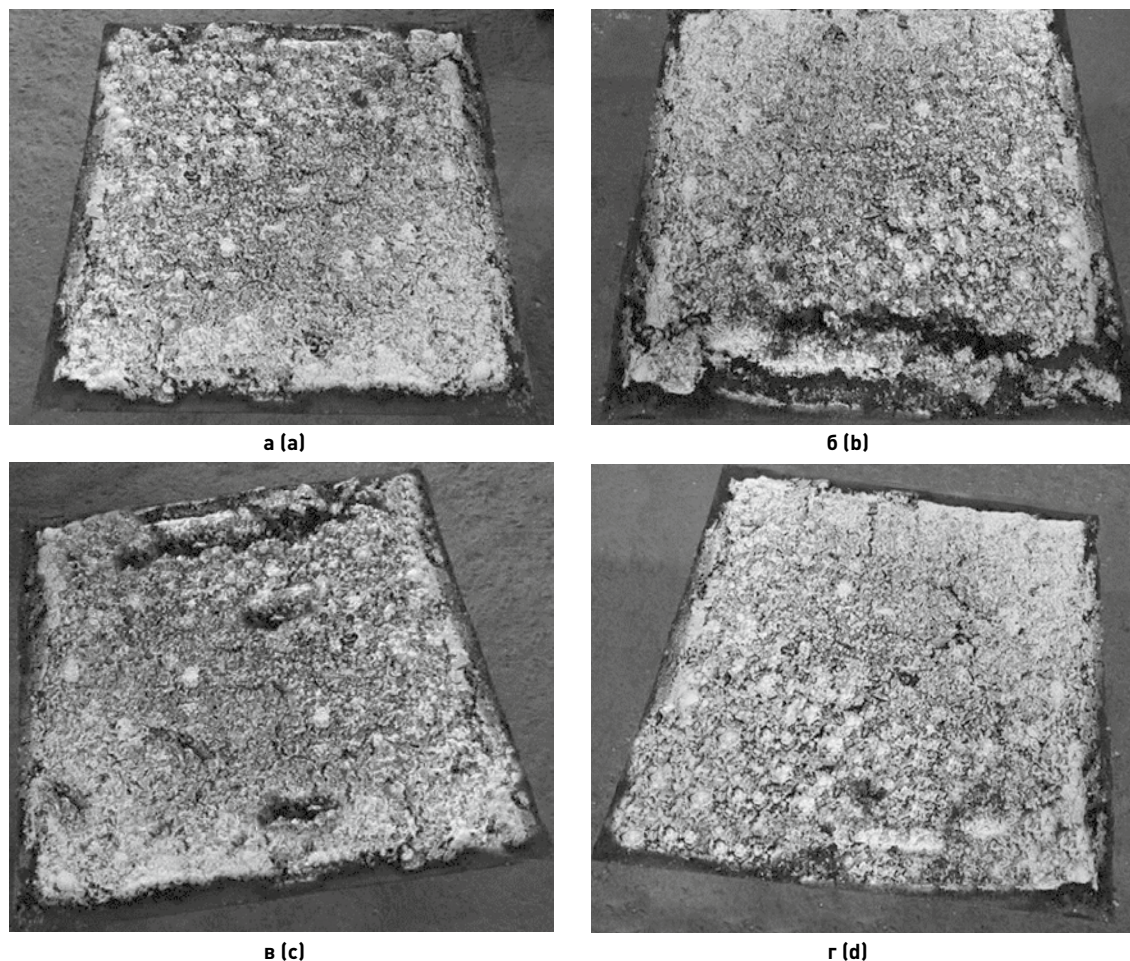


Рис. 12. Образцы после проведения огневых испытаний:

а – контрольный без старения; б – после 45 циклов старения; в – после 134 циклов старения;
г – после 224 циклов старения

Fig. 12. Samples after fire tests:

a – control without aging; b – after 45 aging cycles; c – after 134 aging cycles; d – after 224 aging cycles

Заключение

Прогнозируемый срок службы испытанной системы покрытия на основе антикоррозионной грунтовки «ДЕКОПОКС-ФАСТ», атмосферостойкой огнезащитной краски «ДЕКО-ТЕРМ-ХРОМ-Р» и двухкомпонентной полиуретановой грунт-эмали «ДЕКОПУР-ФЛЕКС» в условиях открытой промышленной атмосферы (ХЛ1, УХЛ1) с сохранением огнезащитной эффективности при условии соблюдения всех требований технологического процесса получения покрытия составляет не менее 25 лет.

Список литературы

1. Технический регламент Евразийского экономического союза «О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения» (ТР ЕАЭС 043/2017) [интернет]. Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293744/4293744691.pdf>.
2. Комарова М.А., Гришин И.А., Шалабин М.В., Мельников Н.О. Разработка методов испытаний сохранения свойств огнезащитных покрытий стальных строительных конструкций в процессе эксплуатации. Вестник НИЦ «Строительство». 2024;40(1):21–34. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-1\(40\)-21-34](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-1(40)-21-34)
3. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. Москва: Стандартинформ; 2010.
4. ГОСТ 16523-97. Прокат тонколистовой из углеродистой стали качественной и обыкновенного качества общего назначения. Технические условия. Москва: Стандартинформ; 2008.
5. ГОСТ 9045-93. Прокат тонколистовой холоднокатаный из низкоуглеродистой качественной стали для холодной штамповки. Технические условия. Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации; 1996.
6. ГОСТ 28379-89. Шпатлевки ЭП-0010 и ЭП-0020. Технические условия. Москва: Стандартинформ; 2006.
7. 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. Москва: Стандартинформ; 2018.
8. ГОСТ Р 53293-2009. Пожарная опасность веществ и материалов. Материалы, вещества и средства огнезащиты. Идентификация методами термического анализа. Москва: Стандартинформ; 2011.
9. ГОСТ Р 53295-2009. Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности. Москва: Стандартинформ; 2009.
10. ГОСТ 9.407-2015. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Метод оценки внешнего вида. Москва: Стандартинформ; 2015.
11. ГОСТ 30247.0-94. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования. Москва: Издательство стандартов, 2003.

References

1. Technical Regulations of the Eurasian Economic Union “On requirements for fire safety and fire extinguishing equipment” (TR EAEU 043/2017) [internet]. Available at: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293744/4293744691.pdf>. [In Russian].
2. Komarova M.A., Grishin I.A., Shalabin M.V., Melnikov N.O. Development of test methods for fire-retardant coatings of steel engineering structures during operation. Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction. 2024;40(1):21–34. [In Russian]. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-1\(40\)-21-34](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-1(40)-21-34)

3. State Standard 15150-69. Machines, instruments and other industrial products. Modifications for different climatic regions. Categories, operating, storage and transportation conditions as to environment climatic aspects influence. Moscow: Standartinform Publ.; 2010. (In Russian).
4. State Standard 16523-97. Rolled sheets from quality and ordinary carbon steel for general purposes. Specifications. Moscow: Standartinform Publ.; 2008. (In Russian).
5. State Standard 9045-93. Cold-rolled thin sheets of low-carbon steel for cold stamping. Specifications. Minsk: Euro-Asian Council for standardization, metrology and certification; 1996. (In Russian).
6. State Standard 28379-89. Putties ЭП-0010 and ЭП-0020. Specifications. Moscow: Standartinform Publ.; 2006. (In Russian).
7. State Standard 9.401-2018. Unified system of corrosion and ageing protection. Paint coatings. General requirements and methods of accelerated tests on resistance to the influence of climatic factors. Moscow: Standartinform Publ.; 2018. (In Russian).
8. State Standard R 53293-2009. Fire hazard of substances and materials. Materials, substance and fire protective means. Identification by thermal analysis methods. Moscow: Standartinform Publ.; 2011. (In Russian).
9. State Standard R 53295-2009. Fire retardant compositions for steel constructions. General requirement. Method for determining fire retardant efficiency. Moscow: Standartinform Publ.; 2009. (In Russian).
10. State Standard 9.407-2015. Unified system of corrosion and ageing protection. Paint coatings. Method of appearance rating. Moscow: Standartinform Publ.; 2015. (In Russian).
11. State Standard 30247.0-94. Elements of building constructions. Fire-resistance test methods. General requirements. Moscow: Publishing house of standards; 2003. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Мария Александровна Комарова, канд. хим. наук, руководитель научного экспертного бюро пожарной, экологической безопасности в строительстве, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

Maria A. Komarova, Cand. Sci. (Chem.), Bureau Head, Scientific Expert Bureau of Fire and Environmental Safety in Construction, Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow

Илья Александрович Гришин, заместитель руководителя научного экспертного бюро пожарной, экологической безопасности в строительстве, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

Il'ya A. Grishin, Deputy Head, Scientific Expert Bureau of Fire and Environmental Safety in Construction, Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow

Никита Олегович Мельников[✉], канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник научного экспертного бюро пожарной, экологической безопасности в строительстве, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство»; доцент, РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва

e-mail: no.melnikov@yandex.ru

Nikita O. Melnikov[✉], Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Senior Researcher, Scientific Expert Bureau of Fire and Environmental Safety in Construction, Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction; Associate Professor, D.I. Mendeleev Russian University of Chemical Technology, Moscow

e-mail: no.melnikov@yandex.ru

Михаил Валерьевич Шалабин, аспирант, заведующий лабораторией научного экспертного бюро пожарной, экологической безопасности в строительстве, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

Mikhail V. Shalabin, Postgraduate student, Laboratory Head, Scientific Expert Bureau of Fire and Environmental Safety in Construction, Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow

Михаил Иванович Ведяков, инженер отдела металлических конструкций, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство»; студент 5-го курса Института гидротехнического и энергетического строительства, НИУ МГСУ, Москва

Mikhail I. Vedyakov, Engineer of the Metal structures Department, Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction; 5th year student of the Institute of Hydraulic Engineering and Power Plant Construction, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author