

УДК 614.841.45

ОГНЕЗАЩИТНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОКРЫТИЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ УСКОРЕННОМ КЛИМАТИЧЕСКОМ СТАРЕНИИ

**Комарова Мария Александровна¹, Мельников Никита Олегович^{1,2},
Шалабин Михаил Валерьевич¹, Скоробогатов Виталий Александрович³,
Головина Екатерина Валерьевна⁴**

¹ Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций (ЦНИИСК) им. В. А. Кучеренко, г. Москва, Россия

² Российский химико-технологический университет (РХТУ) им. Д. И. Менделеева, Миусская площадь, г. Москва, Россия

³ ООО «ТЕРРИТОРИЯ», Московская область, Россия

⁴ Уральский институт ГПС МЧС России, г. Екатеринбург, Россия

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрены особенности экспериментального определения гарантийного или прогнозируемого срока эксплуатации огнезащитных покрытий металлических строительных конструкций в зависимости от условий эксплуатации. Целью работы является апробация методов испытаний для определения стойкости к воздействию климатических факторов при старении в условиях открытой промышленной атмосферы и сохранности эффективности покрытий стальных строительных конструкций в процессе эксплуатации на примере современного огнезащитного покрытия. Для осуществления цели исследования было проведено циклическое искусственное старение образцов огнезащитного покрытия и оценена стойкость к воздействию климатических факторов и сохранность огнезащитных свойств в процессе эксплуатации двумя методами: термическим анализом и огнезащитной эффективностью. Искусственное старение в соответствии с применяемыми методиками проводилось на 5, 15 и 25 лет.

В результате исследования методом термического анализа при сравнении значимых идентификационных характеристик исследованных огнезащитных покрытий с использованием экспериментально полученных и теоретически рассчитанных статистических критериев существенных расхождений не обнаружено. Установлено, что при проведении испытаний методом оценки огнезащитной эффективности с увеличением количества циклов искусственного старения огнезащитные свойства покрытия снижаются.

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

FIRE-RESISTANT EFFECTIVENESS OF COATINGS OF METAL BUILDING STRUCTURES WITH ACCELERATED CLIMATIC AGING

Maria A. Komarova¹, Nikita O. Melnikov^{1,2}, Mikhail V. Shalabin¹, Vitaly A. Skorobogatov³, Ekaterina V. Golovina⁴

¹Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, Moscow, Russian Federation

²Russian Chemical-Technological University named after D.I. Mendeleev, Moscow, Russian Federation

³LLC "TERRITORY", Moscow region, Russian Federation

⁴Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Yekaterinburg, Russian Federation

ABSTRACT

The article discusses the features of the experimental determination of the warranty or predicted service life of fire-resistant coatings of metal building structures, depending on the operating conditions. The aim of the work is to test methods to determine the resistance to climatic factors during aging in an open industrial atmosphere and the preservation of the effectiveness of coatings of steel building structures during operation using the example of a modern flame retardant coating. To achieve the purpose of the study, cyclic artificial aging of flame retardant coating samples was carried out and the resistance to climatic factors and the preservation of flame retardant properties during operation were evaluated by two methods: thermal analysis and flame retardant efficiency. Artificial aging in accordance with the applied methods was carried out for 5, 15 and 25 years.

As a result, of the thermal analysis study, no significant discrepancies were found when comparing the significant identification characteristics of the studied flame retardant coatings using experimentally obtained and theoretically calculated statistical criteria. It has been established that when conducting tests using the method of evaluating flame retardant effectiveness, with an increase in the number of cycles of artificial aging, the flame retardant properties of the coating decrease.

Keywords: flame retardant coatings, flame retardant efficiency, thermal analysis, the impact of climatic factors, the preservation of flame retardant properties

Введение

В настоящее время средства огнезащиты для металлических 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 огнеза-

щитных работ, а также порядок транспортирования и хранения [2].

Одним из важнейших параметров при обеспечении пожарной безопасности является гарантийный или прогнозируемый срок эксплуатации огнезащитного покрытия в зависимости от условий службы. В результате длительной эксплуатации огнезащитных покрытий неизбежно происходит потеря их защитных свойств, которая связана с воздействием внешних факторов, которые могут проявляться в виде внешних признаков (растрескивание, отслаивание, потеря глянца, изменение цвета и т. д.) Сложнее обстановка стоит с исследованием внутренних изменений, а именно производением оценки сохранения покрытием огнезащитных свойств. На определенной стадии старения покрытие перестает выполнять свои защитные функции и требуется его замена. Поэтому вопрос сохранения огнезащитной эффективности покрытий представляет значительный интерес для пожарной безопасности [3–5].

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.

С 1 октября 2024 г. введен в действие национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 71618-2024 «Конструкции стальные строительные с огнезащитными покрытиями. Методы испытаний антикоррозионных свойств и стойкости к воздействию климатических факторов в процессе эксплуатации» [6], который 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 оценке сохранения огнезащитных свойств при кли-

матическом старении в условиях открытой промышленной атмосферы (ХЛ1, УХЛ1 по ГОСТ 15150-69 [7]) на примере современного огнезащитного покрытия.

Материалы и методы

Объектом исследования является огнезащитное покрытие в составе:

– антикоррозионной грунтовки «ДЕКОПОКС-ФАСТ» (ТУ 2312-015-12943630-2017) толщиной сухого слоя не менее 0,08 мм;

– двухкомпонентного огнезащитного антикоррозионного состава «ДЕКОТЕРМ-ЭПОКСИ» (ТУ 2312-010-12943630-2016) толщиной сухого слоя не менее 0,78 мм;

– финишного покрытия двухкомпонентной полиуретановой грунт-эмали «ДЕКОПУР-ФЛЕКС» (ТУ 2312-014-12943630-2017) толщиной сухого слоя не менее 0,05 мм.

В качестве образцов используются стальные пластины из листовой стали марки 08кп и 08пс по ГОСТ 16523-97 [8] и ГОСТ 9045-93 [9] 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 – $\pm 0,5$ мм. Обратная сторона и кромки пластин окрашены шпатлевкой ЭП-0010 по ГОСТ 28379-89 [10], 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.

Согласно программе испытаний проводилось циклическое искусственное старение образцов по методу 6 ГОСТ 9.401-2018 [11], 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 [12] и огнезащитной эффективностью по ГОСТ Р 53295-2009 [13].

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

Визуальную оценку состояния покрытия после искусственного старения

проводили по п. 9 ГОСТ 9.407-2015 [14]. При визуальном осмотре состояния покрытия оценивались виды разрушений, характеризующие декоративные и защитные свойства: растрескивание, отслаивание, образование пузырей, растворение, сморщивание, коррозия металла, изменение цвета, меление и грязеудержание.



Рис. 1. Образцы в климатической камере ТН-225 С перед началом испытаний
Fig. 1. Samples in the TN-225 C climate chamber before the start of testing

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

Таблица 1

Режим испытаний, последовательность перемещения и время выдержки образцов в аппаратах

Table 1

The test mode, the sequence of movement and the holding time of the samples in the apparatus

Аппаратура Equipment	Параметры испытаний Test parameters		Время выдержки образцов в одном цикле, ч Sample holding time in one cycle, h
	Температура, °С Temperature, °С	Относительная влажность, % Relative humidity, %	
Камера климатическая ТН-225 С, заводской номер LP 202209ТН008 Climate control chamber TN-225 C, serial number LP 202209ТН008	+40 (± 2)	+97 (+ 3)	2
Испытательная камера с напуском сернистого газа SO ₂ LRHS-297-RSO ₂ , заводской номер LP20-1351 (концентрация SO ₂ (5+1) мг/м ³) Test chamber with SO ₂ sulfur dioxide intake RHS-297-RSO ₂ , serial number LP 20-1351 (concentration of SO ₂ (5+1) mg/m ³)	+40 (± 2)	97 (+ 3)	2
Камера климатическая ТН-225 С, заводской номер LP 202209ТН008 Climate control chamber TN-225 C, serial number LP 202209ТН008	-30 (± 3)	Не нормируется It is not standardized	6
УФ-камера для испытаний на атмосферостойкость UV-ST-260, заводской номер LP 202209UV008: режим 3 мин орошения, 17 мин без орошения UV weather resistance test chamber UV-ST-260, serial number LP 202209UV008: 3 min irrigation mode, 17 min without irrigation	+60 (± 3)	Не нормируется It is not standardized	5
Камера климатическая ТН-225 С, заводской номер LP 202209ТН008 Climate control chamber TN-225 C, serial number LP 202209ТН008	-60 (± 3)	Не нормируется It is not standardized	3
Выдержка на воздухе	15–30	Не более 80	6

Exposure to air		No more than 80	
ИТОГО TOTAL			24

Допустимый уровень ухудшения защитных свойств должен быть не более 3 баллов (А33) по ГОСТ 9.407-2015 [14]. 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 [11]. Коэффициент ускорения K_y 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 [12].

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.

Таблица 2

Условия проведения термического анализа

Table 2

Conditions of thermal analysis

Условия испытаний Test conditions	Используемый метод (модуль) Used method (module)
	ТГ TG
Термопара (материал) Thermocouple (material)	платина/платино-родий platinum/platinum
Тигель (материал, объем) Crucible (material, volume)	корунд, 1 см ³ corundum, 1 cm ³
Масса образца, мг Sample weight, mg	10
Форма образца The shape of the sample	порошок powder
Атмосфера Atmosphere	аргон argon
Расход газа, мл/мин Gas consumption, ml/min	30
Скорость нагрева, °С/мин Heating speed, °C/min	10
Конечная температура нагрева, °С Final heating temperature, °C	1000

По результатам термического анализа определяются следующие значимые идентификационные характеристики:

– потеря массы при температурах: 200, 300, 400, 500 °С (по ТГ-кривым);

– зольный остаток при температуре 1 000 °С (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).

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 53295-2009 [13]. 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 [15].

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.

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. 2. Состояние покрытия после 45 циклов старения

Fig. 2. The condition of the coating after 45 aging cycles



Рис. 3. Состояние системы покрытия после 134 цикла старения

Fig. 3. The condition of the coating system after 134 aging cycles



Рис. 4. Состояние системы покрытия после 224 циклов старения

Fig. 4. The condition of the coating system after 224 aging cycles



Рис. 5. Состояние поверхности системы покрытия после 224 циклов старения при 4-кратном увеличении микроскопа

Fig. 5. Surface conditions of the coating system after 224 aging cycles at 4 magnification of the microscope

Таблица 3
 Результаты ускоренных климатических испытаний

Table 3
 Results of accelerated climate tests

Наименование показателя Indicator name	Нормативный документ на метод Regulatory document for the method	Кол-во циклов Number of cycles	Состояние покрытия Coverage status	Результат, лет Result, years
Срок службы Service life	ГОСТ 9.401-2018 [7] GOST 9.401-2018	45	без изменений (рис. 2) no changes (fig. 2)	5
		134	без изменений (рис. 3) no changes (fig. 3)	15
		224	слабое посветление (рис. 4) weak illumination (Fig. 4)	25

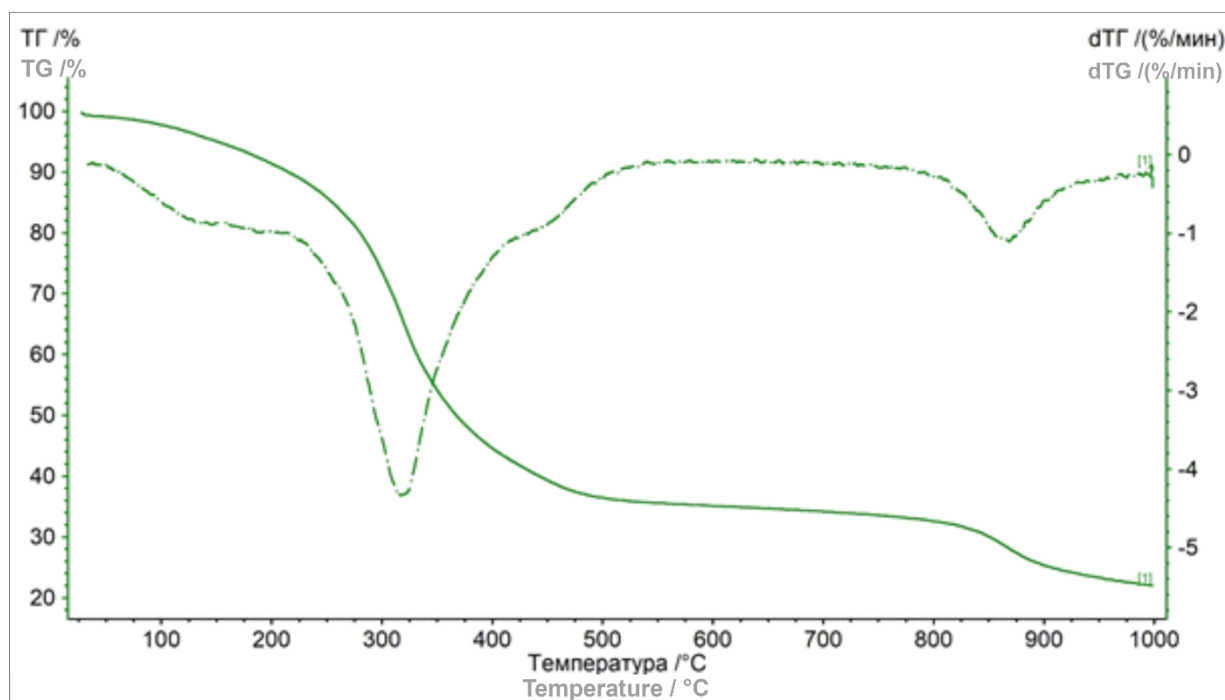


Рис. 6. Термоаналитические кривые контрольного образца без старения

Fig. 6. Thermoanalytical curves of the control sample without aging

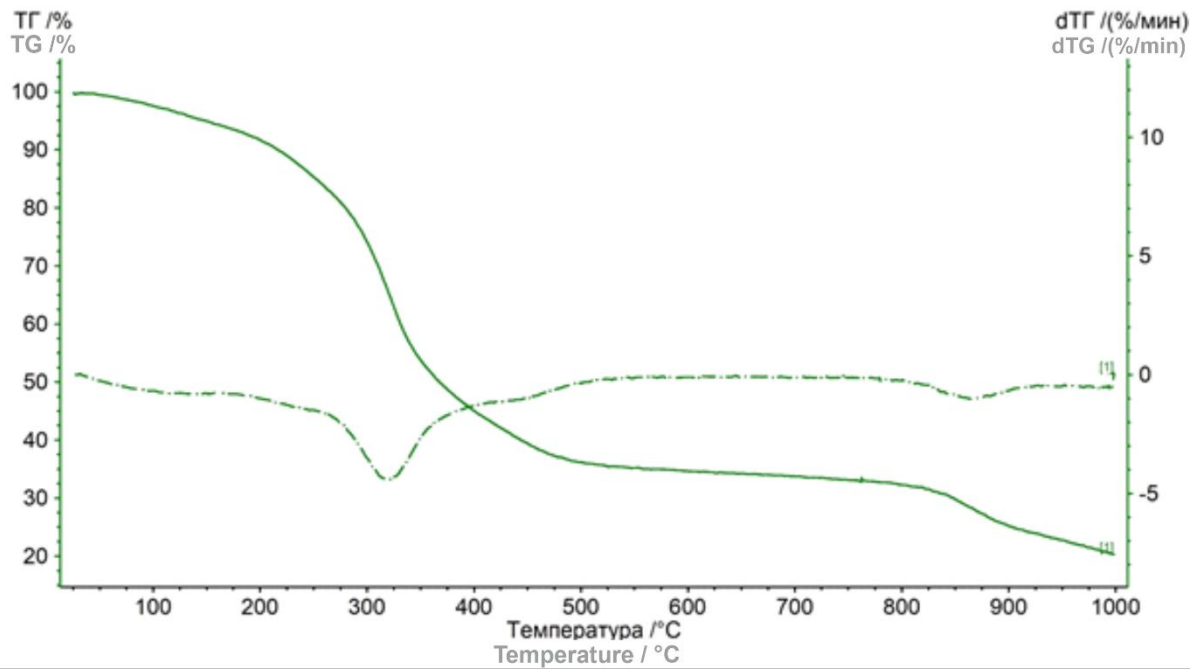


Рис. 7. Термоаналитические кривые образца после 45 циклов старения
Fig. 7. Thermoanalytical curves of the sample after 45 aging cycles

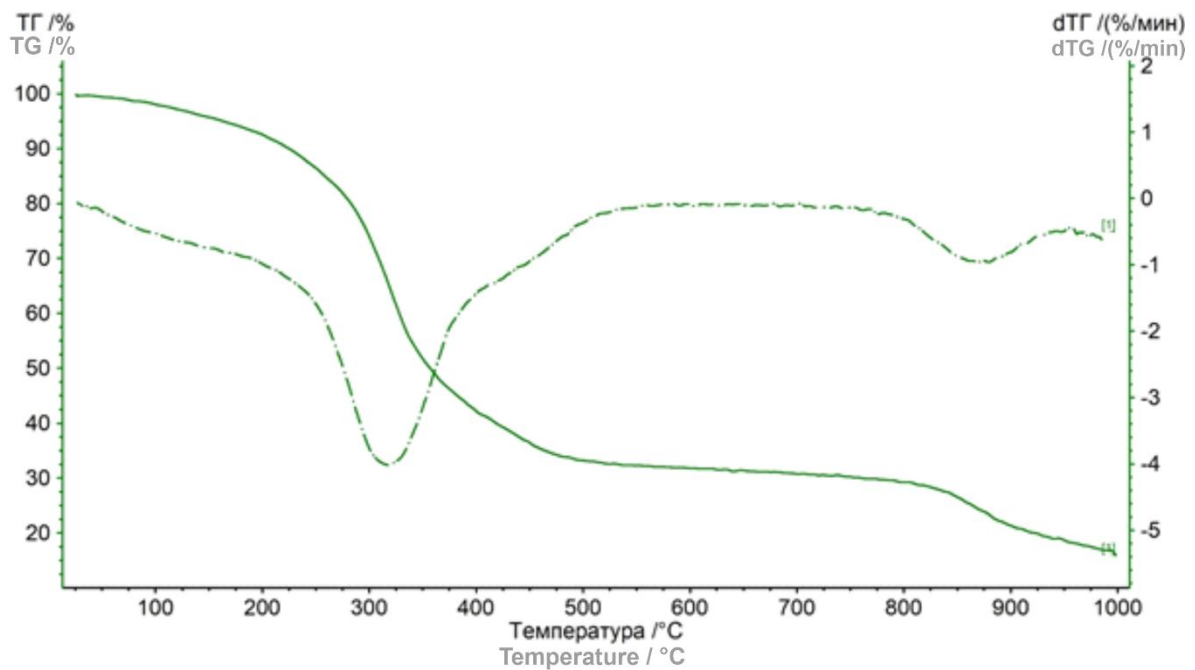


Рис. 8. Термоаналитические кривые образца после 134 циклов старения
Fig. 8. Thermoanalytical curves of the sample after 134 aging cycles

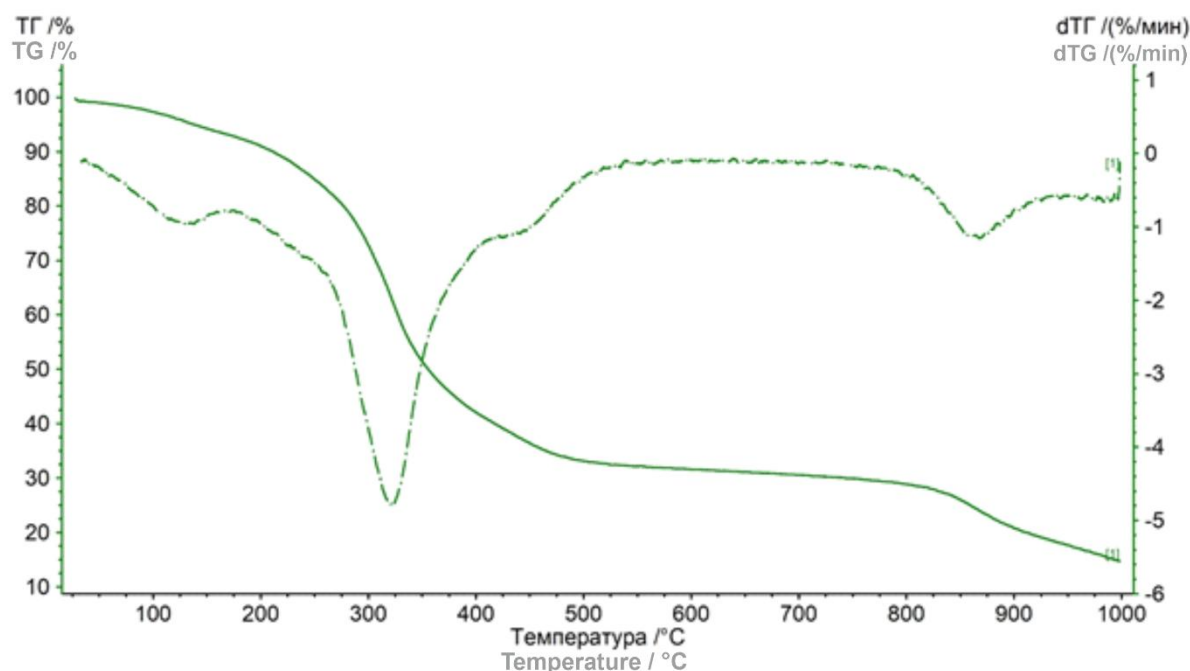


Рис. 9. Термоаналитические кривые образца после 224 циклов старения

Fig. 9. Thermoanalytical 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 control sample without aging

	Потеря массы Δm , %, при температуре, °C Mass loss Δm , %, at temperature, °C				Зольный остаток, %, (1 000 °C) Ash residue, %, (1 000 °C)
	Δm_{200}	Δm_{300}	Δm_{400}	Δm_{500}	
Δm_{cp}	8,77	26,5	56,81	64,65	21,9
σ	0,08	0,35	0,08	0,11	0,09
σ^2	0,01	0,12	0,01	0,01	0,01
Температура, °C, при потере массы Temperature, °C, with weight loss	$T_{5\%}$	$T_{10\%}$	$T_{20\%}$	$T_{30\%}$	$T_{50\%}$
T_{cp}	134,98	210,98	279,98	310,98	370,98
σ	1,2	1,5	2,5	1,8	1,4
σ^2	1,4	3,0	6,3	3,2	2,8
Характеристика максимумов ДТГ-пику в температурном интервале (температура максимума, T_{max} /максимальная скорость потери массы, A_{max} , %/мин) Characteristics of the maxima of DTG peaks in the temperature range (maximum temperature, T_{max} /maximum mass loss rate, A_{max} , %/min)					
Интервал, °C Interval, °C	200–500			700–1000	

$T_{\max \text{ ср}}$	316,45/4,31	867,74/1,15
σ	2,1/0,57	1,1/1,21
σ^2	8,6/0,20	1,4/0,29

Таблица 5

Значимые идентификационные характеристики термического анализа образца после 45 циклов старения

Table 5

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

	Потеря массы Δm , %, при температуре, °C Mass loss Δm , %, at temperature, °C				Зольный остаток, %, (1 000 °C) Ash residue, %, (1 000 °C)
	Δm_{200}	Δm_{300}	Δm_{400}	Δm_{500}	
$\Delta m_{\text{ср}}$	7,56	26,57	58,03	66,83	21,5
σ	0,08	0,35	0,08	0,11	0,09
σ^2	0,01	0,12	0,01	0,01	0,01
Температура, °C, при потере массы Temperature, °C, with weight loss	$T_5\%$	$T_{10}\%$	$T_{20}\%$	$T_{30}\%$	$T_{50}\%$
$T_{\text{ср}}$	146,25	216,25	281,25	311,25	356,25
σ	1,2	1,5	2,5	1,8	1,4
σ^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 Characteristics of the maxima of DTG peaks in the temperature range (maximum temperature, T_{\max} /maximum mass loss rate, A_{\max} , %/min)					
Интервал, °C Interval, °C	200–500			700–1000	
$T_{\max \text{ ср}}$	317,68/4,02			871,45/1,11	
σ	2,1/0,57			1,1/1,21	
σ^2	8,6/0,20			1,4/0,29	

Таблица 6

Значимые идентификационные характеристики термического анализа образца после 134 циклов старения

Table 6

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

	Потеря массы Δm , %, при температуре, °C Mass loss Δm , %, at temperature, °C				Зольный остаток, %, (1 000 °C) Ash residue, %, (1 000 °C)
	Δm_{200}	Δm_{300}	Δm_{400}	Δm_{500}	
$\Delta m_{\text{ср}}$	6,98	29,23	41,06	69,88	15,73
σ	0,08	0,35	0,08	0,11	0,09
σ^2	0,01	0,12	0,01	0,01	0,01

Температура, °С, при потере массы Temperature, °С, with weight loss	$T_{5\%}$	$T_{10\%}$	$T_{20\%}$	$T_{30\%}$	$T_{50\%}$
T_{cp}	126,41	206,41	280,41	319,41	360,41
σ	1,2	1,5	2,5	1,8	1,4
σ^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 Characteristics of the maxima of DTG peaks in the temperature range (maximum temperature, T_{max} /maximum mass loss rate, A_{max} , %/min)					
Интервал, °С Interval, °С	200–500			700–1000	
$T_{max\ cp}$	338,52/4,89			861,45/1,12	
σ	2,1/0,57			1,1/1,21	
σ^2	8,6/0,20			1,4/0,29	

Таблица 7

Значимые идентификационные характеристики термического анализа образца после 224 циклов старения

Table 7

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

	Потеря массы Δm , %, при температуре, °С Mass loss Δm , %, at temperature, °С				Зольный остаток, %, (1 000 °С) Ash residue, %, (1 000 °С)
	Δm_{200}	Δm_{300}	Δm_{400}	Δm_{500}	
Δm_{cp}	7,82	30,24	40,11	70,89	14,85
σ	0,08	0,35	0,08	0,11	0,09
σ^2	0,01	0,12	0,01	0,01	0,01
Температура, °С, при потере массы Temperature, °С, with weight loss	$T_{5\%}$	$T_{10\%}$	$T_{20\%}$	$T_{30\%}$	$T_{50\%}$
T_{cp}	130,41	225,41	290,41	330,41	370,41
σ	1,2	1,5	2,5	1,8	1,4
σ^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 Characteristics of the maxima of DTG peaks in the temperature range (maximum temperature, T_{max} /maximum mass loss rate, A_{max} , %/min)					
Интервал, °С Interval, °С	200–500			700–1000	
$T_{max\ cp}$	350,52/4,89			876,45/1,12	
σ	2,1/0,57			1,1/1,21	
σ^2	8,6/0,20			1,4/0,29	

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 статистиче-

ских 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 [13] представлены на рис. 11.

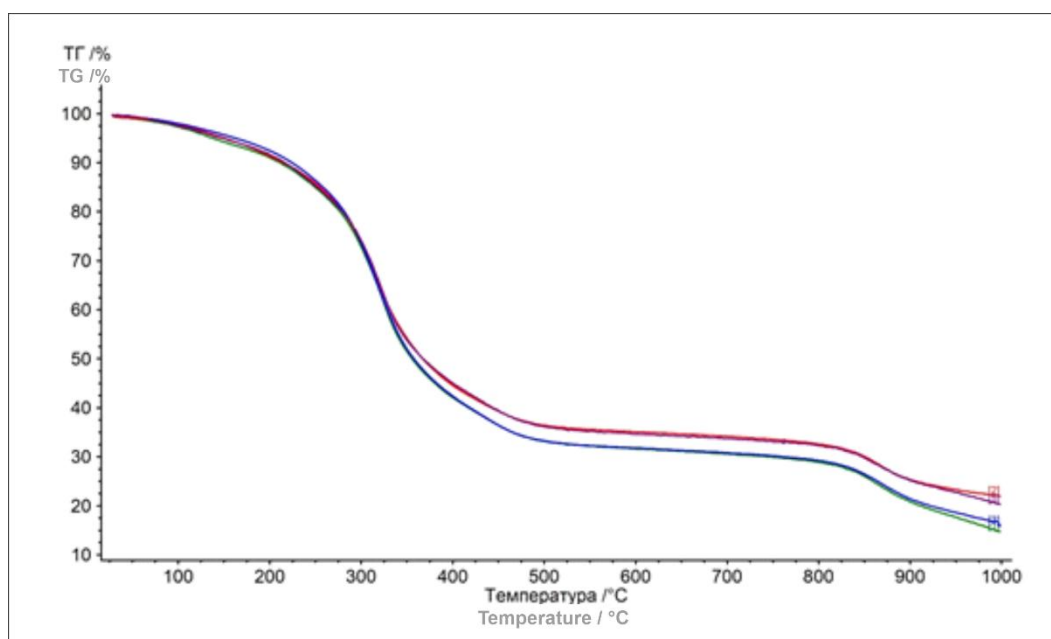


Рис. 10. ТГ-кривые образцов огнезащитного покрытия: красная линия – контрольный без старения; фиолетовая линия – после 45 циклов старения; синяя линия – после 134 циклов старения; зеленая линия – после 224 циклов старения

Fig. 10. TG-curves of flame retardant coating samples: red line – control without aging; purple line – after 45 aging cycles; The blue line is after 134 aging cycles; the green line is after 224 aging cycles

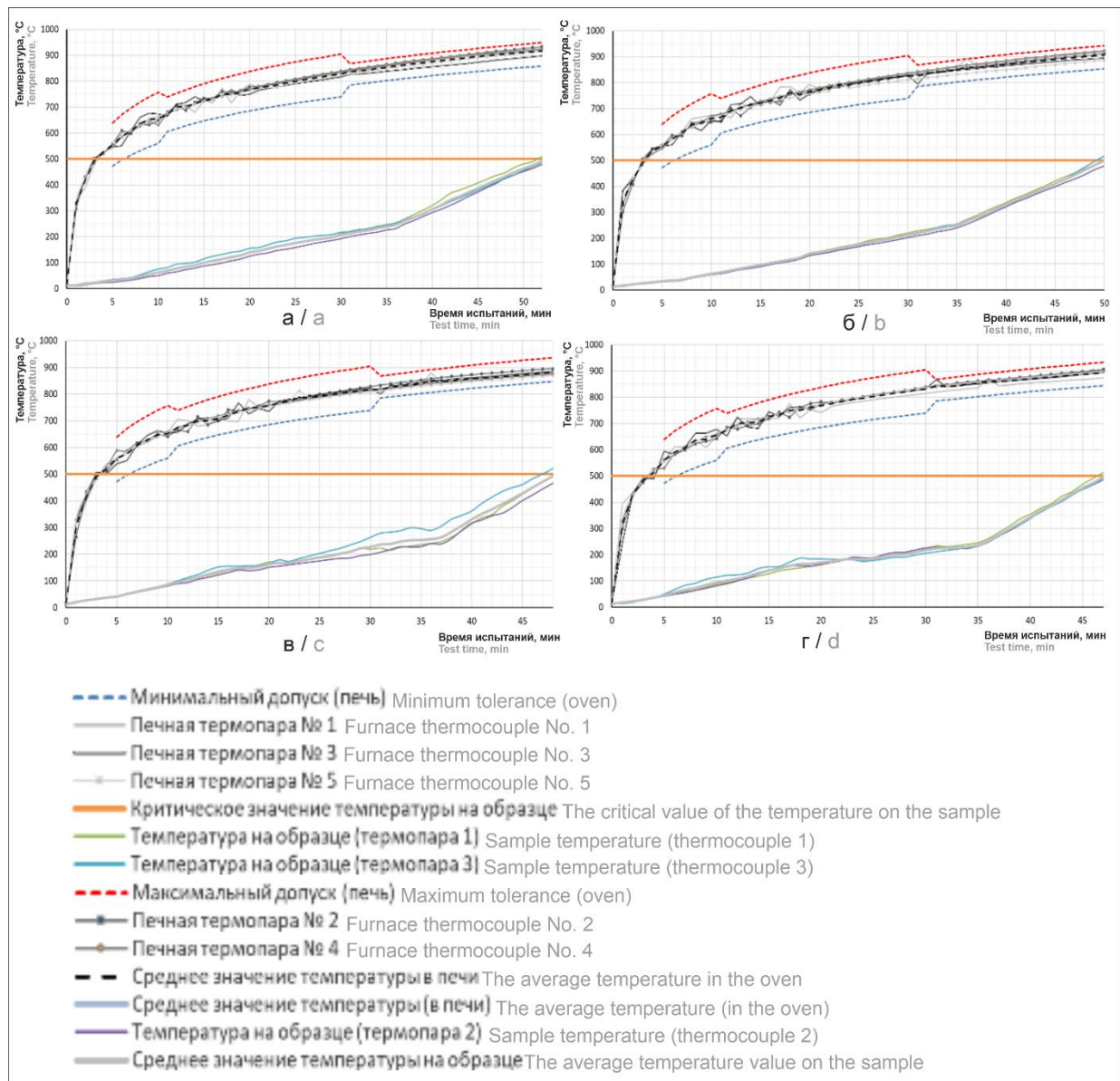


Рис. 11. Изменение температуры в печи и на образце в процессе испытания: а) контрольный без старения; б) после 45 циклов старения; в) после 134 циклов старения; г) после 224 циклов старения

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 – 52 мин; после 45 циклов старения – 50 мин; после 134 циклов старения – 48 мин; после 224 циклов старения – 47 мин.

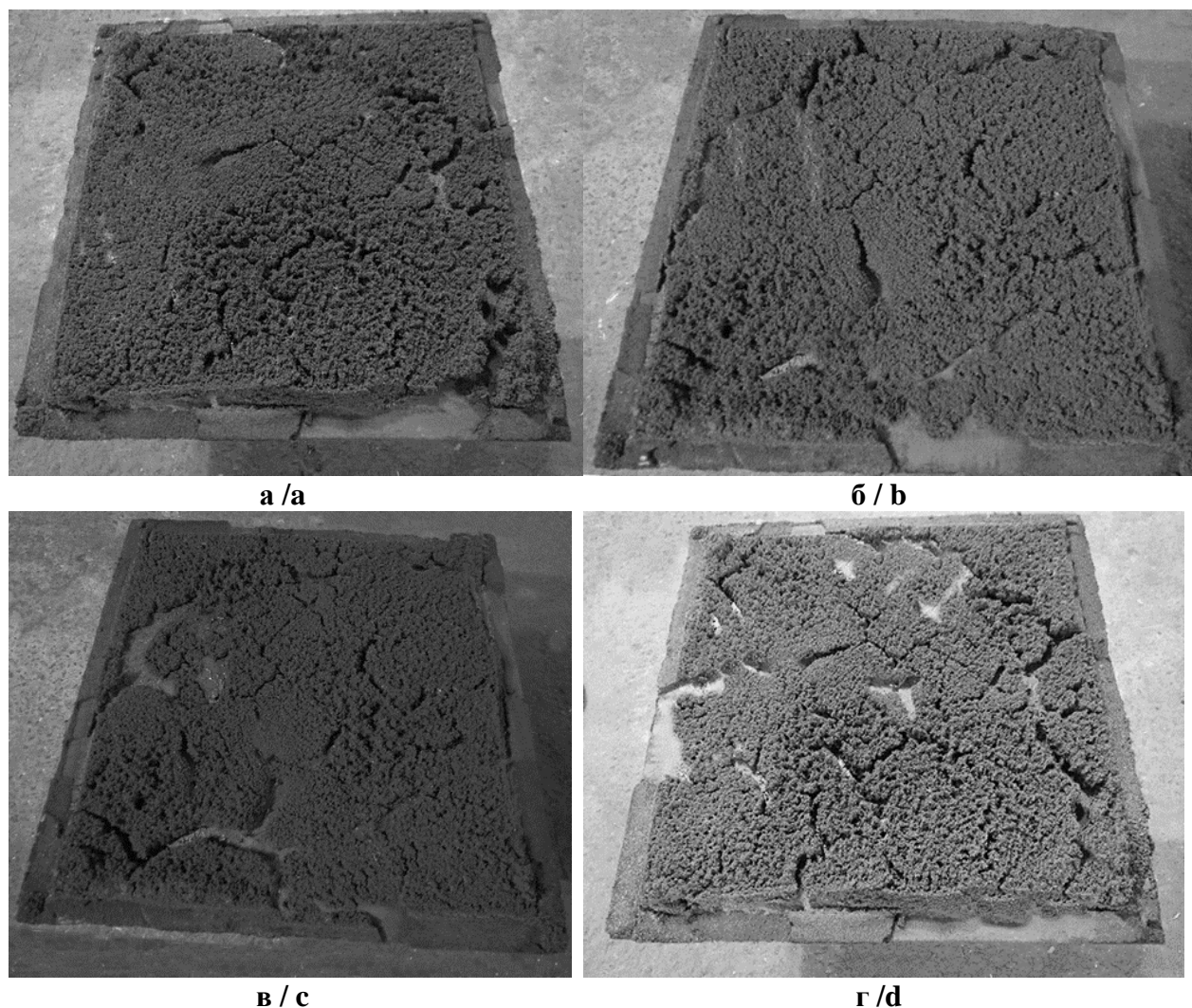


Рис. 12. Образцы после проведения огневых испытаний: а) контрольный без старения; б) после 45 циклов старения; в) после 134 циклов старения; г) после 224 циклов старения
Fig. 12. Samples after fire tests: a) control without aging; b) after 45 aging cycles; c) after 134 aging cycles; d) after 224 aging cycles

Заключение

При анализе полученных данных установлено, что огнезащитная эффективность с увеличением количества циклов искусственного старения несколько снизилась и составила приблизительно 10 % в сторону уменьшения от контрольного образца при 224 циклах. То есть можно прогнозировать сохранение огнезащитной эффективности в течение 25 лет эксплуатации покрытия.

Таким образом, прогнозируемый срок службы испытанной системы покры-

тия на основе антикоррозионной грунтовки «ДЕКОПОКС-ФАСТ», атмосферостойкой огнезащитной краски «ДЕКОТЕРМ-ЭПОКСИ» 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 ИСТОЧНИКОВ

1. ТР ЕАЭС 043/2017. О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения : технический регламент Евразийского экономического союза : принят решением Совета Евразийской экономической комиссии от 23 июня 2017 г. № 40 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456080708> (дата обращения: 04.12.2024).
2. Разработка методов испытаний огнезащитных покрытий стальных строительных конструкций в процессе эксплуатации / М. А. Комарова [и др.] // Вестник НИЦ Строительство. 2024. № 1 (40). С. 21–34.
3. Flame Retardant Coatings: Additives, Binders, and Fillers / M.M.S. Mohd Sabee et. al. // Polymers (Basel). 2022. № 14.
4. Eremina T., Korolchenko D. Fire Protection of Building Constructions with the Use of Fire-Retardant Intumescent Compositions // Buildings. 2020. № 10, 185. DOI: 10.3390/buildings10100185.
5. Докучаева Л. В., Старостенков А. С., Мельников Н. О. Исследование процессов ускоренного старения огнезащитных покрытий // Специальная химия, пожарная и промышленная безопасность. 2012. Т. 26, № 2 (131). С. 99–104.
6. ГОСТ Р 71618-2024. Конструкции стальные строительные с огнезащитными покрытиями. Методы испытаний антикоррозионных свойств и стойкости к воздействию климатических факторов в процессе эксплуатации : нац. стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 18 сентября 2024 г. № 1256-ст : введен впервые : дата введения 2024-10-01 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1307419803> (дата обращения: 04.12.2024).
7. 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 : межгосударственный стандарт : утвержден и введен в действие постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 29 декабря 1969 г. № 1394 : введен впервые : дата введения 1971-01-01 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003320> (дата обращения: 04.12.2024).
8. ГОСТ 16523-97. Прокат тонколистовой из углеродистой стали качественной и обыкновенного качества общего назначения. Технические условия : межгосударственный стандарт : утвержден и введен в действие постановлением Государственного комитета Российской Федерации по стандартизации и метрологии от 4 апреля 1999 г. № 113 : введен впервые : дата введения 2000-01-01 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200005334> (дата обращения: 04.12.2024).
9. ГОСТ 9045-93. Прокат тонколистовой холоднокатаный из низкоуглеродистой качественной стали для холодной штамповки. Технические условия : межгосударственный стандарт : утвержден и введен постановлением Комитета Российской Федерации по стандартизации, метрологии и сертификации от 20 февраля 1996 г. № 67 : введен впервые : дата введения 1997-01-01 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200005968> (дата обращения: 04.12.2024).
10. ГОСТ 28379-89. Шпатлевки ЭП-0010 и ЭП-0020. Технические условия : межгосударственный стандарт : утвержден и введен в действие постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 19 декабря 1989 г. № 3837 : введен впервые : дата введения 1991-01-01 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200020609> (дата обращения: 04.12.2024).
11. 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 : межгосударственный стандарт : утвержден и введен в действие приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 13 сентября 2018 г. № 603-ст : введен впервые : дата введения 2019-07-01 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200160589> (дата обращения: 04.12.2024).
12. ГОСТ Р 53293-99. Пожарная опасность веществ и материалов. Материалы, вещества и средства огнезащиты. Идентификация методами термического анализа : нац. стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 18 февраля 2009 г. № 69-ст : введен впервые : дата введения 2010-01-01 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200071912> (дата обращения: 04.12.2024).
13. ГОСТ Р 53295-2009. Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности : нац. стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 18 февраля 2009 г. № 71-ст : вве-

ден впервые : дата введения 2010-01-01 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200071913> (дата обращения: 04.12.2024).

14. ГОСТ 9.407-2015. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Метод оценки внешнего вида : межгосударственный стандарт : утвержден и введен в действие приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 10 июня 2015 г. № 618-ст : введен впервые : дата введения 2016-03-01 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200121786> (дата обращения: 04.12.2024).

15. ГОСТ 30247.0-94 Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования : межгосударственный стандарт : утвержден и введен в действие Постановлением Минстроя России от 23 марта 1995 г. № 18-26 : введен впервые : дата введения 1996-01-01 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200121786> (дата обращения: 04.12.2024).

REFERENCES

1. Technical Regulations of the Eurasian Economic Union "On requirements for fire safety and fire extinguishing equipment" (TR EAEU 043/2017). (rus).
2. Komarova M.A., Grishin I.A., Shabalin M.V., Melnikov N.O. Development of test methods for fire-resistant coatings of steel building structures during operation. Bulletin of the NIC Construction. 2024; 1 (40): 21–34. DOI 10.37538/2224-94-2024-1(40)-21-34. (rus).
3. Mohd Sabee M.M.S, Itam Z., Beddu S., Zahari N.M., Mohd Kamal N.L., Mohamad D., Zulkepli N.A., Shafiq M.D., Abdul Hamid Z.A. Flame Retardant Coatings: Additives, Binders, and Fillers. Polymers (Basel). 2022; 14. doi: 10.3390/polym14142911.
4. Eremina T., Korolchenko D. Fire Protection of Building Constructions with the Use of Fire-Retardant Intumescent Compositions. Buildings. 2020; 10: 185. DOI: 10.3390/buildings10100185
5. Dokuchaeva L.V., Starostenkov A.S., Melnikov N.O. Investigation of the processes of accelerated aging of fire-resistant coatings. Special chemistry, fire and industrial safety. 2012; 2(131): 99–104. (rus).
6. GOST R Fire retardant compositions for steel constructions. General requirement. Method for determining fire retardant efficiency. (rus).
7. GOST 15150-69 Machines, devices and other technical products. Versions for different climatic regions. Categories, conditions of operation, storage and transportation in terms of exposure to climatic factors of the environment. (rus).
8. GOST 16523-97 Rolled thin-sheet carbon steel of high quality and ordinary quality for general purpose. Technical conditions. (rus).
9. GOST 9045-93 Cold-rolled thin sheets of low-carbon quality steel for cold forming. Technical conditions. (rus).
10. GOST 28379-89 Putties ЭП-0010 and ЭП-0020. Specifications. (rus).
11. GOST 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. (rus).
12. GOST R 53293-99 Fire hazard of substances and materials. Materials, substance and fire protective means. Identification by thermal analysis methods. (rus).
13. GOST R 53295-2009 Fire retardant compositions for steel constructions. General requirement. Method for determining fire retardant efficiency. (rus).
14. GOST 9.407-2015 Unified system of protection against corrosion and aging. Paint and varnish coatings. Method of evaluation of appearance. (rus).
15. GOST 30247.0-94 Elements of building constructions. Fire-resistance test methods. General requirements. (rus).

Информация об авторах

Комарова Мария Александровна, кандидат химических наук, руководитель научного экспертного бюро пожарной, экологической безопасности в строительстве, ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Россия, 109428, г. Москва, ул. 2-я Институтская, д. 6, к. 1; РИНЦ ID: 1253773;

Information about the authors

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, 109428, Moscow, 2nd Institutskaya str., 6, room 1; ID RISC:

e-mail: mariya.kom5@mail.ru

Мельников Никита Олегович, кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией исследований огнестойкости строительных конструкций научного экспертного бюро пожарной, экологической безопасности в строительстве, ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко АО «НИЦ “Строительство”, Россия; 109428, г. Москва, ул. 2-я Институтская, д. 6, к. 1; доцент кафедры техносферной безопасности, РХТУ им. Д. И. Менделеева, Россия 125047, г. Москва, Миусская площадь, д. 9, стр. 1; РИНЦ ID: 694341; Scopus Author ID: 57189368987; e-mail: no.melnikov@yandex.ru

Шалабин Михаил Валерьевич, аспирант, заведующий лабораторией противопожарного нормирования в строительстве научного экспертного бюро пожарной, экологической безопасности в строительстве ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко АО «НИЦ “Строительство”, Россия, 109428, г. Москва, ул. 2-я Институтская, д. 6, к. 1; РИНЦ ID: 1229206; e-mail: shalabinm@mail.ru

Скоробогатов Виталий Александрович, генеральный директор ООО «ТЕРРИТОРИЯ», Россия, 143430, Московская область, г. о. Красногорск, рп. Нахабино, ул. Вокзальная, д. 25Б, офис 6; e-mail: skorobogatov.ntc@yandex.ru

Головина Екатерина Валерьевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры надзорной деятельности и права, Уральский институт ГПС МЧС России, Россия, 620062, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; РИНЦ ID: 846886; ORCID: 0000-0002-2999-0752; e-mail: ekaterinagolovina@yandex.ru

1253773;

e-mail: mariya.kom5@mail.ru

Nikita O. Melnikov, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, 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; 109428, Moscow, 2nd Institutskaya str., 6, room 1; Associate Professor, Russian Chemical-Technological University named after D.I. Mendeleev, 125047, Moscow 9 Miuskaya Square, building 1, ID RISC: 694341; Scopus Author ID: 57189368987; e-mail: no.melnikov@yandex.ru

Mikhail V. Shalabin, Graduate 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, 109428, Moscow, 2nd Institutskaya str., 6, room 1; ID RISC: 1229206; e-mail: shalabinm@mail.ru

Vitaly A. Skorobogatov Deputy General Director LLC "TERRITORY", 143430, Moscow region, Krasnogorsk, Nakhabino district, 25B Vokzalnaya str., office 6; e-mail: skorobogatov.ntc@yandex.ru

Ekaterina V. Golovina, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Supervision and Law, Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062 Russian Federation; ID RISC: 846886; ORCID: 0000-0002-2999-0752; e-mail: ekaterinagolovina@yandex.ru