

УДК 614.841.45

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-1\(40\)-21-34](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-1(40)-21-34)

EDN: CJYXWA

# РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ СТАЛЬНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

М.А. КОМАРОВА<sup>1</sup>, канд. хим. наук

И.А. ГРИШИН<sup>1</sup>

М.В. ШАЛАБИН<sup>1</sup>

Н.О. МЕЛЬНИКОВ<sup>1,2,✉</sup>, канд. техн. наук

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

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

## Аннотация

*Введение.* Одной из важнейших проблем в области применения огнезащитных покрытий стальных строительных конструкций является прогнозирование их срока эксплуатации или сохранение эффективности во времени. В настоящее время отсутствуют нормативные документы в области пожарной безопасности, регламентирующие проведение испытаний огнезащитных покрытий в процессе эксплуатации, а также определение их долговечности (срока службы).

*Целью* настоящей работы является разработка методов испытаний для определения стойкости к воздействию климатических факторов, сохранности огнезащитных и антикоррозионных свойств огнезащитных покрытий стальных строительных конструкций в процессе эксплуатации.

*Материалы и методы.* В качестве испытательных образцов для исследования старения огнезащитных покрытий применяются 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.

*Результаты.* В работе предложены методы испытаний тонкослойных вспучивающихся и конструктивных огнезащитных покрытий в процессе эксплуатации. Методика проведения ускоренных климатических испытаний образцов с тонкослойным вспучивающимся огнезащитным покрытием (огнезащитной краской) соответствует ГОСТ 9.401-2018, так как они по своей сути являются высоконаполненными лакокрасочными материалами. Для конструктивных огнезащитных покрытий разработана новая методика, последовательность и режимы проведения испытаний. Последующая оценка огнезащитных свойств покрытий и их сохранности проводится методами огнезащитной эффективности по ГОСТ Р 53295-99 и методами термического анализа, при которых сравниваются результаты, характеристики и графические зависимости для исходного огнезащитного покрытия и исследуемого образца после старения. Для тонкослойных вспучивающихся покрытий сохранение огнезащитных свойств дополнительно оценивается по коэффициенту вспучивания, а для конструктивных – по изменению теплопроводности.

*Выводы.* В результате проведенного исследования разработаны методы испытаний огнезащитных покрытий стальных строительных конструкций в процессе эксплуатации. Установлены предельные уровни изменения свойств покрытий. При оценке огнезащитной эффективности после ускоренных климатических испытаний она должна снижаться не более чем на 20%. Для конструктивной огнезащиты допускается увеличение теплопроводности не более чем на 5%. Для тонкослойных покрытий допускается уменьшение среднеарифметического значения коэффициента вспучивания не более чем на 30% от исходного.

**Заключение.** Разработанные методы использованы при подготовке проекта национального стандарта Российской Федерации «Конструкции стальные строительные с огнезащитными покрытиями. Методы испытаний антикоррозионных свойств и стойкости к воздействию климатических факторов в процессе эксплуатации» для обеспечения нормативных требований пожарной безопасности для данных конструкций.

**Ключевые слова:** конструкции стальные строительные, огнезащитные покрытия, воздействие климатических факторов, огнезащитная эффективность, сохранение огнезащитных свойств

**Для цитирования:** Комарова М.А., Гришин И.А., Шалабин М.В., Мельников Н.О. Разработка методов испытаний 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)

#### **Вклад авторов**

Все авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

#### **Финансирование**

Исследование выполнено в рамках договорных работ между АО «НИЦ «Строительство» и ФАУ «ФЦС».

#### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

*Поступила в редакцию 06.02.2024*

*Поступила после рецензирования 01.03.2024*

*Принята к публикации 07.03.2024*

## **DEVELOPMENT OF TEST METHODS FOR FIRE-RETARDANT COATINGS OF STEEL ENGINEERING STRUCTURES DURING OPERATION**

M.A. KOMAROVA<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Chem.)

I.A. GRISHIN<sup>1</sup>

M.V. SHALABIN<sup>1</sup>

N.O. MELNIKOV<sup>1,2,✉</sup>, Cand. Sci. (Engineering)

<sup>1</sup> *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*

<sup>2</sup> *Russian Chemical-Technological University named after D.I. Mendeleev, Miusskaya square, 9, bld. 1, Moscow, 125047, Russian Federation*

#### **Abstract**

**Introduction.** Prediction of the durability of flame-retardant coatings of steel engineering structures and preservation of their performance during operation remain important research directions. There is a lack of normative documents in the field of fire protection, regulating the process of testing of flame-retardant coatings during operation, as well as determination of their durability (service life).

**Aim.** To develop test methods for determining the resistance of flame-retardant coatings of steel engineering structures exposed to climatic factors, preservation of their fireproof and anti-corrosion properties during operation.

**Materials and methods.** Test specimens included 600 x 600 x 5 mm plates made of 08kp and 08ps sheet steel according to State Standard 16523-97 and State Standard 9045-93 with a flame-retardant agent applied on the front side.

**Results.** Methods for testing thin-layer intumescent and structural flame-retardant coatings during operation are proposed. The methodology of accelerated climatic testing of specimens coated with thin-layer intumescent

flame-retardant coatings (flame-retardant paints) corresponds to State Standard 9.401-2018. These coatings are inherently high-solid paint materials. A new methodology, sequence, and modes of testing are developed for structural flame-retardant coatings. The subsequent assessment of fireproof properties of coatings and their preservation is carried out by the methods of fire protection efficiency according to State Standard R 53295-99 and the methods of thermal analysis. These methods imply comparison of the characteristics of the initial flame-retardant coating and those obtained after sample aging. The preservation of fireproof properties by thin-layer intumescent and structural coatings is additionally evaluated by the intumescence coefficient and the change in thermal conductivity, respectively.

*Conclusions.* Test methods for flame-retardant coatings of steel engineering structures during operation are developed. Threshold levels of changes in their properties are established. After accelerated climatic tests, fire protection efficiency should not decrease by no more than 20%. For structural fire protection, an increase in thermal conductivity by no more than 5% is permitted. For thin-layer coatings, the arithmetic mean value of the intumescence coefficient should not decrease by no more than 30% of the initial value.

*Implications.* The developed methods were used in the preparation of a draft national standard of the Russian Federation "Steel engineering structures with fireproof coatings. Test methods for anticorrosion properties and resistance to climatic factors during operation" to ensure regulatory fire safety requirements for these structures.

**Keywords:** steel engineering structures, flame-retardant coatings, fire protection coatings, climatic factors, fire protection efficiency, preservation of fire protection properties

**For citation:** 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)

#### **Author contribution statements**

All the authors have contributed equally to the publication.

#### **Funding**

The research was carried out within a contract between JSC Research Center of Construction and FAU "FCS".

#### **Conflict of interest**

The authors declare no conflict of interest.

*Received 06.02.2024*

*Revised 01.03.2024*

*Accepted 07.03.2024*

## **Введение**

Одной из важнейших проблем в области применения огнезащитных покрытий стальных строительных конструкций является прогнозирование их срока эксплуатации или сохранение эффективности во времени. 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.

Наибольшее распространение для повышения пределов огнестойкости стальных строительных конструкций получили тонкослойные вспучивающиеся краски и штукатурные покрытия [1–8]. В настоящее время отсутствует нормативная база, регламентирующая сроки эксплуатации и замены (реконструкции) огнезащитных покрытий. Нет и системы подтверждения соответствия покрытий заявленным требованиям пожарной безопасности

по истечении срока эксплуатации в зависимости от условий окружающей среды. Это связано также и с недостаточностью данных по старению различного рода огнезащитных покрытий и научно-исследовательских работ в этой области. При этом проводятся исследования, посвященные этому вопросу. Например, в работах [9–15] приводятся результаты исследований по разработке научно-методических подходов к выявлению дефектов огнезащитных покрытий и оценки состояния при эксплуатации, а также результаты исследований огнезащитных покрытий после ускоренного старения по таким показателям, как внешний вид, адгезия, коэффициент вспучивания, химический состав, термоаналитические характеристики и др. В этих работах также описываются методики, по которым происходило ускоренное старение покрытий, но ввиду отсутствия единых методов полученные данные сложно сопоставлять и делать обоснованные заключения по механизмам старения огнезащитных покрытий и давать прогнозы по их срокам службы.

Таким образом, можно отметить, что в настоящее время ощущается недостаточность информации о процессах старения огнезащитных покрытий, а имеющиеся литературные источники зачастую противоречат друг другу либо их данные устарели.

При старении изменяются все свойства покрытий: огнезащитные, физико-химические, механические и др. На определенной стадии эксплуатации покрытие перестает выполнять свои защитные функции и требуется его реновация или замена. Поэтому проблема долговечности имеет не только научно-технический интерес, но и большое экономическое значение [16].

Атмосферное старение огнезащитных покрытий обусловлено комплексным воздействием многих факторов: влажности, кислорода воздуха, переменных температур, солнечной радиации и т. д. Скорость разрушения покрытий в атмосферных условиях примерно в 50 раз больше, чем в помещении. Основной вклад в разрушение огнезащитных покрытий вносят процессы окислительной и гидролитической деструкции, происходящие под влиянием кислорода и содержащейся в воздухе воды, а также фотохимические процессы, инициируемые солнечным светом. Чем выше интенсивность этих факторов, тем с большей разрушительной силой происходит процесс старения.

Наиболее часто встречающийся вид химического разрушения покрытий – окислительная деструкция. Особенно эффективно она протекает в атмосферных условиях. Диффузия и растворимость кислорода в покрытии, наличие в нем реакционноспособных групп – основные факторы, обуславливающие старение покрытий под действием кислорода [17].

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.

Также существуют и действуют нормативные документы по ускоренному старению лакокрасочных материалов, такие как национальные и международные стандарты. На взгляд авторов статьи, оптимальными методиками для наиболее точного воспроизведения условий эксплуатации огнезащитных покрытий, из представленных в литературных источниках, являются методики проведения ускоренных климатических испытаний, приведенные в ГОСТ 9.401-2018 [18].

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.

**Целью** представленной работы является разработка методов испытаний для определения стойкости к воздействию климатических факторов, сохранности огнезащитных и антикоррозионных свойств огнезащитных покрытий стальных строительных конструкций в процессе эксплуатации.

В основу разрабатываемых методов испытаний легли результаты многолетнего опыта проведения научно-исследовательских работ специалистами НЭБ ПБС ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко в области экспертной оценки несоответствий эксплуатируемых огнезащитных покрытий требованиям нормативных документов, обследований их технического состояния, обоснования остаточного ресурса и продления сроков эксплуатации на различных объектах. Также учитывался опыт различных исследований [9–11, 14], существующие методики, как отечественные [19], так и зарубежные [20], и нормативные документы единой системы защиты от коррозии и старения.

## **Метод проведения ускоренных климатических испытаний**

Сущность метода заключается в проведении ускоренных климатических испытаний образцов стальных пластин с нанесенными огнезащитными покрытиями, после чего проводится оценка стойкости огнезащитных покрытий к воздействию климатических факторов, сохранности огнезащитных и антикоррозионных свойств в процессе эксплуатации.

Для проведения испытаний изготавливаются образцы из расчета 1 образец (2 образца для конструктивной огнезащиты) на каждые 5 лет гарантийного срока эксплуатации огнезащитного покрытия и плюс 1 контрольный образец.

В качестве образцов используется стальная пластина из листовой стали марки 08кп и 08пс по ГОСТ 16523-97 [21] и ГОСТ 9045-93 [22] размером  $600 \times 600 \times 5$  мм с нанесенным на нее с лицевой стороны средством огнезащиты (огнезащитным покрытием). Допустимые отклонения по ширине и длине стальной пластины не должны превышать  $\pm 5$  мм, а по толщине –  $\pm 0,5$  мм. Обратная сторона и кромки пластин должны быть окрашены шпатлевкой ЭП-0010 (или другим согласованным лакокрасочным материалом), которая обеспечивает защиту окрашиваемой поверхности в течение всего срока климатических испытаний. Сушку лакокрасочных материалов для защиты обратной стороны и кромок пластин проводят в естественных условиях.

Методика проведения испытаний, оценка результатов ускоренных климатических испытаний образцов стальных пластин с тонкослойным вспучивающимся огнезащитным покрытием (огнезащитной краской) соответствует ГОСТ 9.401-2018 [18], так как они по своей сути являются высоконаполненными лакокрасочными материалами, и старение этих покрытий проходит зачастую по общеизвестным закономерностям. Метод испытаний для них выбирается в зависимости от условий эксплуатации и категорий атмосфер с коррозионной активностью по ГОСТ 9.104-2018 [23] и типов атмосферы по ГОСТ 15150-69 [24].

Визуальный осмотр поверхности тонкослойного вспучивающегося огнезащитного покрытия контрольных образцов на предмет наличия дефектов (вздутий, растрескивания, отслоений и др. дефектов) проводится до и после ускоренных климатических испытаний. При визуальном

осмотре оценивается внешний вид огнезащитного покрытия по п. 9 ГОСТ 9.407-2015 [25], допустимый уровень снижения защитных свойств должен быть А33.

Методика проведения испытаний, оценка результатов ускоренных климатических испытаний образцов стальных пластин с конструктивной огнезащитой (толстослойные напыляемые составы, штукатурки, облицовка плитными, листовыми и другими огнезащитными материалами) соответствует ГОСТ Р 51372-99 [26]. Ускоренное старение таких образцов проводится циклическим методом, подвергая образцы воздействию температуры и влажности. Исходя из эксплуатационных свойств исследуемого материала в качестве контрольного проводится циклическое испытание 207-1 по ГОСТ Р 51369-99 [27].

Режим испытаний, последовательность перемещения и время выдержки образцов в аппаратах в одном цикле для условий эксплуатации УХЛ4 по ГОСТ 9.104-2018 [23] приведены в табл. 1, для условий эксплуатации УХЛ3, УХЛ2 – в табл. 2, УХЛ1 – в табл. 3. Пять циклов испытаний соответствуют одному году эксплуатации конструктивной огнезащиты.

Таблица 1

**Режим испытаний, последовательность перемещения и время выдержки образцов в аппаратах в одном цикле для условий эксплуатации УХЛ4 по ГОСТ 9.104-2018 (ISO 12944-2:2017, NEQ) [23]**

Table 1

**Test mode, movement sequence, and exposure time of specimens in apparatuses in one cycle for operating conditions UHL4 according to State Standard 9.104-2018 (ISO 12944-2:2017, NEQ) [23]**

Испытания	Режимы испытаний		Продолжительность выдержки образцов в одном цикле, мин
	Температура, °C	Относительная влажность, %	
1. Выдержка	70 ± 2	20 ± 3	150
2. Понижение температуры и повышение влажности	30 ± 2	97 ± 3	20
3. Выдержка	30 ± 2	97 ± 3	50
4. Понижение температуры и влажности	10 ± 2	70 ± 3	20
5. Выдержка	10 ± 2	70 ± 3	50
6. Понижение температуры	Минус (20 ± 2)	Не нормируется	50
7. Выдержка	Минус (20 ± 2)	Не нормируется	250
8. Повышение температуры	10 ± 2	Не нормируется	30
9. Выдержка	10 ± 2	Не нормируется	50
10. Повышение температуры	70 ± 2	20 ± 3	50
11. Выдержка	70 ± 2	20 ± 3	150
12. Понижение температуры и повышение влажности	30 ± 2	70 ± 3	20
13. Выдержка	30 ± 2	70 ± 3	50
14. Понижение температуры	10 ± 2	70 ± 3	20
15. Выдержка	10 ± 2	70 ± 3	50
16. Понижение температуры	Минус (10 ± 2)	Не нормируется	50
17. Выдержка	Минус (10 ± 2)	Не нормируется	250
18. Повышение температуры	10 ± 2	Не нормируется	30
19. Выдержка	10 ± 2	Не нормируется	50
20. Повышение температуры	70 ± 2	20 ± 3	50
ИТОГО			1440

Таблица 2

**Режим испытаний, последовательность перемещения и время выдержки образцов в аппаратах в одном цикле для условий эксплуатации УХЛ2 и УХЛ3 по ГОСТ 9.104-2018 (ISO 12944-2:2017, NEQ) [23]**

Table 2

**Test mode, movement sequence, and exposure time of specimens in apparatuses in one cycle for operating conditions UHL2 and UHL3 according to State Standard 9.104-2018 (ISO 12944-2:2017, NEQ) [23]**

Испытания	Режимы испытаний		Продолжительность выдержки образцов в одном цикле, мин
	Температура, °С	Относительная влажность, %	
1. Выдержка	70 ± 2	20 ± 3	150
2. Понижение температуры	30 ± 2	97 ± 3	20
3. Орошение образца водой с расходом 1 л/м <sup>2</sup> в минуту	30 ± 2	97 ± 3	50
4. Понижение температуры и влажности	5 ± 2	80 ± 3	20
5. Выдержка	5 ± 2	80 ± 3	50
6. Понижение температуры	Минус (20 ± 2)	Не нормируется	50
7. Выдержка	Минус (20 ± 2)	Не нормируется	250
8. Повышение температуры	10 ± 2	Не нормируется	20
9. Выдержка	10 ± 2	Не нормируется	50
10. Повышение температуры	70 ± 2	20 ± 3	30
11. Выдержка	70 ± 2	20 ± 3	90
12. Понижение температуры и повышение влажности	30 ± 2	70 ± 3	20
13. Выдержка	30 ± 2	70 ± 3	50
14. Понижение температуры	10 ± 2	70 ± 3	20
15. Выдержка	10 ± 2	70 ± 3	50
16. Понижение температуры	Минус (10 ± 2)	Не нормируется	50
17. Выдержка	Минус (10 ± 2)	Не нормируется	50
18. Понижение температуры	Минус (20 ± 2)	Не нормируется	50
19. Выдержка	Минус (20 ± 2)	Не нормируется	250
20. Повышение температуры	10 ± 2	80 ± 3	20
21. Выдержка	10 ± 2	80 ± 3	50
22. Повышение температуры	70 ± 2	20 ± 3	50
ИТОГО			1440

Перед началом испытаний измеряется теплопроводность конструктивной огнезащиты согласно ГОСТ 7076-99 [28]. Контрольное измерение теплопроводности проводится через 25, 50 и 75 циклов. Допускается увеличение теплопроводности состаренных образцов не более чем на 5% относительно результатов испытаний до старения.

После каждого цикла испытаний проводится оценка повреждений конструктивной огнезащиты и оценивается возможность продолжения испытания на климатические воздействия. Допускается изменение цвета, волосяные трещины, сколы материала на глубину не более 2 мм, наличие единичных нитевидных трещин длиной менее 15 см.

Таблица 3

**Режим испытаний, последовательность перемещения и время выдержки образцов в аппаратах в одном цикле для условий эксплуатации УХЛ1 по ГОСТ 9.104-2018 (ISO 12944-2:2017, NEQ) [23]**

Table 3

**Test mode, movement sequence, and exposure time of specimens in apparatuses in one cycle for operating conditions UHL1 according to State Standard 9.104-2018 (ISO 12944-2:2017, NEQ) [23]**

Испытания	Режимы испытаний		Продолжительность выдержки образцов в одном цикле, мин
	Температура, °C	Относительная влажность, %	
1. Выдержка	70 ± 2	20 ± 3	150
2. Понижение температуры и повышение влажности	30 ± 2	97 ± 3	20
3. Орошение образца водой с расходом 1 л/м <sup>2</sup> в минуту	30 ± 2	97 ± 3	50
4. Понижение температуры	5 ± 2	97 ± 3	20
5. Выдержка	5 ± 2	97 ± 3	50
6. Понижение температуры	Минус (20 ± 2)	Не нормируется	50
7. Выдержка	Минус (20 ± 2)	Не нормируется	120
8. Понижение температуры	Минус (40 ± 2)	Не нормируется	40
9. Выдержка	Минус (40 ± 2)	Не нормируется	90
10. Повышение температуры	10 ± 2	80 ± 3	30
11. Выдержка	10 ± 2	80 ± 3	50
12. Повышение температуры	70 ± 2	20 ± 3	50
13. Выдержка	70 ± 2	20 ± 3	150
14. Понижение температуры	15 ± 3	97 ± 3	20
15. Орошение образца водой с расходом 1 л/м <sup>2</sup>	15 ± 2	97 ± 3	50
16. Понижение температуры	5 ± 2	97 ± 3	20
17. Выдержка	5 ± 2	97 ± 3	50
18. Понижение температуры	Минус (20 ± 2)	Не нормируется	50
19. Выдержка	Минус (20 ± 2)	Не нормируется	250
20. Повышение температуры и влажности	10 ± 2	80 ± 3	30
21. Выдержка	10 ± 2	80 ± 3	50
22. Повышение температуры	70 ± 2	20 ± 3	50
ИТОГО			1440

Старение всех огнезащитных покрытий и тонкослойных вспучивающихся и конструктивных проводят до достижения предполагаемого срока службы (гарантийного срока эксплуатации) с интервалом 5 лет (5, 10, 15 и т. д. лет). При проведении испытаний следует использовать климатические камеры с рабочими объемами, позволяющими разместить исследуемые образцы.

## Метод оценки огнезащитной эффективности

Оценка огнезащитной эффективности покрытий контрольных образцов проводится по п. 6 ГОСТ Р 53295-2009 [29]. Испытания проводятся на одном образце без ускоренных климатических испытаний и на образцах после проведенных ускоренных климатических испытаний по пп. 4.2–4.4 ГОСТ Р 53295-2009 [29].

В процессе проведения испытаний регистрируются следующие показатели:

- время достижения металлом опытного 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 опытного образца.

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

## Оценка сохранности огнезащитных свойств средств огнезащиты методами термического анализа

Подготовку образцов и проведение испытаний выполняют согласно ГОСТ Р 53293-2009 [30]. Для оценки сохранности свойств огнезащитных покрытий после ускоренных испытаний по п. 4 ГОСТ Р 53293-2009 [30] или в процессе эксплуатации проводится анализ, при котором сравниваются результаты термического анализа (ТА), характеристики и графические зависимости для исходного огнезащитного покрытия (эталоны, идентификатора) и исследуемого образца после ускоренных испытаний. Подлежат сравнению характеристики и параметры, полученные только при полностью одинаковых условиях эксперимента (отклонение должно быть не более 3%) на приборах одного класса.

При анализе устанавливают следующие данные:

- наличие или отсутствие подобия сравниваемых ТА кривых во всем температурном диапазоне сравнения;
- наличие или отсутствие совпадения количества значимых максимумов термогравиметрической по производной (ДТГ) кривой в диапазоне 120–550 °С;
- величины отклонений при сравнении значимых идентификационных характеристик (параметров) образцов исследуемого материала и эталона при использовании экспериментально полученных среднеарифметических величин;
- значения потери массы при фиксированных температурах (в интервале 300–550 °С) для огнезащитных покрытий на неорганической основе;
- значения температур фиксированных потерь массы для огнезащитных покрытий на органической основе (в интервале 150–400 °С) и для огнезащитного покрытия на неорганической основе (в интервале 150–300 °С);
- температуры максимумов ДТГ кривой;
- зольный или коксовый остаток, %, при температуре окончания процесса деструкции;

- величины амплитуды максимумов ДТГ кривой;
- температуры максимумов пиков дифференциально-термического анализа (ДТА).

По результатам термического анализа проводится оценка сохранности огнезащитных свойств по ряду критериев.

По характеристикам ТА кривых и расчетным данным материалы сохраняют свои огнезащитные свойства при соблюдении следующих условий: зависимости термогравиметрические (ТГ), термогравиметрические по производной (ДТГ), а в оговоренных случаях дифференциально-термического анализа (ДТА) или дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК) имеют подобный вид: соответственно совпадает количество интервалов деструкции и совпадает количество пиков ДТГ, ДТА или ДСК.

Для тонкослойных вспучивающихся огнезащитных покрытий сохранение огнезащитных свойств дополнительно оценивается по коэффициенту вспучивания. Образец покрытия помещают в термошкаф при температуре 600 °С и выдерживают в течение 5 мин для получения вспученного слоя. Коэффициент вспучивания определяется как отношение толщины вспученного слоя к исходной толщине покрытия. Измерение толщин проводится в сечениях пяти образцов. Коэффициент вспучивания определяется как среднее арифметическое пяти измерений. Внешний вид образцов до и после испытания фиксируется на фотографиях.

Потеря огнезащитных свойств определяется при сравнительной оценке коэффициента вспучивания эталонного и исследуемого (после ускоренных испытаний) образцов. Допускается уменьшение среднеарифметического значения коэффициента вспучивания не более чем на 30% от исходного. При этом покрытие считается полностью утратившим огнезащитные свойства, если среднеарифметическое значение коэффициента вспучивания составляет менее 10.

В результате проведенного исследования разработаны методы ускоренных климатических испытаний тонкослойных вспучивающихся и конструктивных огнезащитных покрытий, оценки огнезащитных свойств и их сохранности методами термического анализа.

## **Заключение**

Разработанные методы использованы при подготовке проекта национального стандарта «Конструкции стальные строительные с огнезащитными покрытиями. Методы испытаний антикоррозионных свойств и стойкости к воздействию климатических факторов в процессе эксплуатации» для обеспечения нормативных требований пожарной безопасности для данных конструкций. Стандарт может быть использован при определении гарантийного срока эксплуатации огнезащитных покрытий стальных строительных конструкций, при этом он не распространяется на определение их пределов огнестойкости.

## **Список литературы**

1. Кривцов Ю.В., Ведяков И.И., Ладыгина И.Р., Носов Е.Н. Тонкослойные покрытия для огнезащиты стальных строительных конструкций. Промышленное и гражданское строительство. 2018;(10):50–53.
2. Кривцов Ю.В., Ладыгина И.Р. Материалы для конструктивной огнезащиты стальных строительных конструкций. Вестник НИЦ Строительство. 2019;(2):74–79.
3. Кривцов Ю.В., Ладыгина И.Р., Колесников П.П. Современные методы обеспечения огнестойкости стальных и железобетонных конструкций. Вестник НИЦ Строительство. 2017;(3):134–143.

4. *Кривцов Ю.В.* Современные средства противопожарной защиты. Промышленное и гражданское строительство. 2014;(9):5–7.
5. *Рязанова Г.Н., Горелов С.А.* Анализ перспективных огнезащитных покрытий металлических конструкций. В: Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство. Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет; 2016, с. 284–286.
6. *Барышников А.А., Горелов С.А., Мустафин Н.Ш.* Анализ перспективных огнезащитных покрытий металлических конструкций. Региональное развитие. 2016;(2):6.
7. *Bronzova M.K., Garifullin M.R.* Fire resistance of thin-walled cold-formed steel structures. Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016;(3):61–78.
8. *Бод К., Сэше М., Фонтэно С., Фрим А., Жуков Р.* Огнезащитные покрытия: последние разработки в функциональных покрытиях, которые спасают жизнь. Лакокрасочные материалы и их применение. 2017;(6):20–27.
9. *Кривцов Ю.В., Ладыгина И.Р., Мельников Н.О.* Научно-практические аспекты выявления дефектов огнезащитных покрытий строительных конструкций. Вестник НИЦ Строительство. 2018;(3):91–101.
10. *Кривцов Ю.В., Ладыгина И.Р., Грошев Ю.М., Комарова М.А., Еремина Г.П.* Оценка технического состояния, остаточного ресурса и продления срока службы огнезащитных покрытий металлоконструкций машинных залов АЭС. Вестник НИЦ «Строительство». 2023;36(1):41–50. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-1\(36\)-41-50](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-1(36)-41-50)
11. *Докучаева Л.В., Старостенков А.С., Мельников Н.О.* Исследование процессов ускоренного старения огнезащитных покрытий. Успехи в химии и химической технологии. 2012;26(2):99–104.
12. *Гравит М.В.* Исследование влияния различных факторов на коэффициент вспучивания органорастворимых огнезащитных покрытий. Лакокрасочные материалы и их применение. 2013;(6):12–17.
13. *Калмагамбетова А.Ш., Аяпбергенова Б.Е., Дивак Л.А., Бакирова Д.Г.* Исследование атмосферостойких огнезащитных вспучивающихся покрытий. Фундаментальные исследования. 2013;(4-3):571–574.
14. *Мельников Н.О., Старостенков А.С., Яковенко Т.В., Акинин Н.И.* Исследование сохранения эффективности огнезащитных покрытий после ускоренного старения. В: Успехи в специальной химии и химической технологии. Труды Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 80-летию основания Инженерного химико-технологического факультета РХТУ им. Д.И. Менделеева. Москва: Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева; 2015, с. 388–392.
15. *Умрихина М.Ю., Шорохова Т.О., Пьянкова Л.А., Кудрявцев А.А., Уткин С.В.* Исследование старения огнезащитных вспучивающихся покрытий методами СЭМ, XRD и ИК-спектроскопии. Пожаровзрывобезопасность. 2020;29(5):60–70. <https://doi.org/10.22227/PV.2020.29.05.60-70>
16. *Яковлев А.Д.* Химия и технология лакокрасочных покрытий. Ленинград: Химия; 1989.
17. *Карякина М.И.* Физико-химические основы процессов формирования и старения покрытий. Москва: Химия; 1980.
18. 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.
19. *Смирнов Н.В., Дудеров Н.Г., Булага С.Н., Булгаков В.В., Михайлова Е.Д., Толпекина Н.А., Лезова М.В.* Оценка огнезащитных свойств покрытий в зависимости от сроков их эксплуатации: методика. Москва: ВНИИПО; 2016.
20. EAD 350402-00-1106. Fire protective products. Reactive coatings for fire protection of steel elements [internet]. EOTA; 2017. Available at: [https://www.eota.eu/download?file=/2015/15-35-0402/ead%20for%20jeu/ead%20350402-00-1106\\_jeu2017.pdf](https://www.eota.eu/download?file=/2015/15-35-0402/ead%20for%20jeu/ead%20350402-00-1106_jeu2017.pdf)
21. ГОСТ 16523-97. Прокат тонколистовой из углеродистой стали качественной и обыкновенного качества общего назначения. Технические условия. Минск: Издательство стандартов; 1999.
22. ГОСТ 9045-93. Прокат тонколистовой холоднокатаный из низкоуглеродистой качественной стали для холодной штамповки. Технические условия. Минск: Издательство стандартов; 1996.
23. ГОСТ 9.104-2018 (ISO 12944-2:2017, NEQ). Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Группы условий эксплуатации. Москва: Стандартинформ; 2019.
24. 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.
25. ГОСТ 9.407-2015. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Метод оценки внешнего вида. Москва: Стандартинформ; 2015.

26. ГОСТ Р 51372-99. Методы ускоренных испытаний на долговечность и сохраняемость при воздействии агрессивных и других специальных сред для технических изделий, материалов и систем материалов. Общие положения. Москва: Госстандарт России; 2000.
27. ГОСТ Р 51369-99. Методы испытаний на стойкость к климатическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Испытания на воздействие влажности. Москва: Госстандарт России; 2000.
28. ГОСТ 7076-99. Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме. Москва: Госстрой России; 2000.
29. ГОСТ Р 53295-2009. Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности. Москва: Стандартинформ; 2009.
30. ГОСТ Р 53293-2009. Пожарная опасность веществ и материалов. Материалы, вещества и средства огнезащиты. Идентификация методами термического анализа. Москва: Стандартинформ; 2011.

## References

1. *Krivtsov Yu.V., Vedyakov I.I., Ladygina I.R., Nosov E.N.* Thin-layer coatings for fire protection of steel building structures. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo = Industrial and Civil Engineering*. 2018;(10):50–53. (In Russian).
2. *Krivtsov Yu.V., Ladygina I.R.* Materials for constructional fire protection of structural steel members. *Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2019;21(2):74–79. (In Russian).
3. *Krivtsov Yu.V., Ladygina I.R., Kolesnikov P.P.* Modern methods of ensuring fire resistance of steel and reinforced concrete structures. *Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2017;(3):134–143. (In Russian).
4. *Krivtsov Yu.V.* Modern means of fire protection. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo = Industrial and Civil Engineering*. 2014;(9):5–7. (In Russian).
5. *Ryazanova G.N., Gorelov S.A.* Analysis of perspective fireproof coatings for metal structures. In: *Traditions and Innovations in Construction and Architecture*. Construction. Samara: Samara State University of Architecture and Civil Engineering; 2016, p. 284–286. (In Russian).
6. *Baryshnikov A.A., Gorelov S.A., Mustafin N.Sh.* Analysis of perspective fireproof coatings of steel structures. *Regional'noe razvitie*. 2016;(2):6. (In Russian).
7. *Bronzova M.K., Garifullin M.R.* Fire resistance of thin-walled cold-formed steel structures. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2016;(3):61–78.
8. *Baud K., Sesche M., Fonteno S., Frim A., Zhukov R.* Fireproof coatings: recent developments in functional coatings that save lives. *Lakokrasochnie materialy i ikh primeneniye = Russian Coatings Journal*. 2017;(6):20–27. (In Russian).
9. *Krivtsov Yu.V., Ladygina I.R., Melnikov N.O.* Scientific and practical aspects of defects detection of fireproof coatings of building structures. *Vestnik NIC Stroitel'`stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2018;(3):91–101. (In Russian).
10. *Krivtsov Yu.V., Ladygina I.R., Groshev Yu.M., Komarova M.A., Eremina G.P.* Estimation of technical condition, residual resource and service life extension of fireproof coatings of steel structures of the NPP machine halls. *Vestnik NIC Stroitel'`stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2023;36(1):41–50. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-1\(36\)-41-50](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-1(36)-41-50)
11. *Dokuchaeva L.V., Starostenkov A.S., Melnikov N.O.* Investigation of the accelerated aging processes of fireproof coatings. *Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii*. 2012;26(2):99–104. (In Russian).
12. *Gravit M.V.* Investigation of the influence of various factors on the swelling coefficient of organosoluble fireproof coatings. *Lakokrasochnie materialy i ikh primeneniye = Russian Coatings Journal*. 2013;(6):12–17. (In Russian).
13. *Kalmagambetova A.Sh., Ayapbergenova B.E., Divak L.A., Bakirova D.G.* Research of weather-resistant fireproof coatings. *Fundamental Research*. 2013;(4-3):571–574. (In Russian).
14. *Melnikov N.O., Starostenkov A.S., Yakovenko T.V., Akinin N.I.* Research of the fireproof coatings efficiency preservation after the accelerated aging. In: *Successes in special chemistry and chemical technology*. Proceedings of the All-Russian scientific and technical conference dedicated to the 80th anniversary of the

founding of the Engineering Chemical Technology Faculty of D.I. Mendeleev Russian Chemical University. Moscow: Mendeleev Russian University of Chemical Technology; 2015, pp. 388–392. (In Russian).

15. *Umrikhina M.Yu., Shorokhova T.O., Pyankova L.A., Kudryavtsev A.A., Utkin S.V.* Using scanning electron microscopy, x-ray diffraction and IR spectroscopy to study the ageing of intumescent fire-proof coatings. *Pozharovzryvobezopasnost = Fire and Explosion Safety.* 2020;29(5):60–70. (In Russian). <https://doi.org/10.22227/pvb.2020.29.05.60-70>

16. *Yakovlev A.D.* Chemistry and technology of paint and varnish coatings. Leningrad: Khimiya Publ.; 1989. (In Russian).

17. *Karyakina M.I.* Physico-chemical bases of processes of formation and aging of coatings. Moscow: Khimiya Publ.; 1980. (In Russian).

18. 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).

19. *Smirnov N.V., Duderov N.G., Bulaga S.N., Bulgakov V.V., Mikhailova E.D., Tolpekina N.A., Lezova M.V.* Evaluation of fireproof properties of coatings depending on their service life: methodology. Moscow: VNIIPPO; 2016. (In Russian).

20. EAD 350402-00-1106. Fire protective products. Reactive coatings for fire protection of steel elements [internet]. EOTA; 2017. Available at: [https://www.eota.eu/download?file=/2015/15-35-0402/ead%20for%20ojeu/ead%20350402-00-1106\\_ojeu2017.pdf](https://www.eota.eu/download?file=/2015/15-35-0402/ead%20for%20ojeu/ead%20350402-00-1106_ojeu2017.pdf)

21. State Standard 16523-97. Rolled sheets from quality and ordinary carbon steel for general purposes. Specifications. Minsk: Publishing house of standards; 1999. (In Russian).

22. State Standard 9045-93. Cold-rolled thin sheets of low-carbon steel for cold stamping. Specifications. Minsk: Publishing house of standards; 1996. (In Russian).

23. State Standard 9.104-2018 (ISO 12944-2:2017, NEQ). Unified system of corrosion and ageing protection. Paint coatings. Groups of operation conditions. Moscow: Standartinform Publ.; 2019. (In Russian).

24. 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).

25. State Standard 9.407-2015. Unified system of corrosion and ageing protection. Paint coatings. Method of appearance rating. Moscow: Standartinform Publ.; 2015. (In Russian).

26. State Standard R 51372-99. Accelerated life and storable life test methods in special aggressive and other special media for technical products, materials and systems of materials. General. Moscow: Gosstandart of Russia; 2000. (In Russian).

27. State Standard R 51369-99. Climatic environment stability test methods for machines, instruments and other industrial products. Test for influence of humidity. Moscow: Gosstandart of Russia; 2000. (In Russian).

28. State Standard 7076-99. Building materials and products. Method of determination of steady-state thermal conductivity and thermal resistance. Moscow: Gosstroy of Russia; 2000. (In Russian).

29. 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).

30. 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).

## 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  
**Ilya 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

**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**, 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, Moscow

**Никита Олегович Мельников**<sup>✉</sup>, 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**<sup>✉</sup>, 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, Russian Chemical-Technological University named after D.I. Mendeleev, Moscow  
e-mail: no.melnikov@yandex.ru

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author