

УДК 699.812.2

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ОГНЕЗАЩИТНЫХ КРАСОК НА ВОДНОЙ ОСНОВЕ ДЛЯ ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

Тухбатулин Максим Наильевич, Барбин Николай Михайлович,
Елфимова Марина Владимировна, Хабибуллина Наталия Валерьевна

Уральский институт ГПС МЧС России, г. Екатеринбург, Россия

АННОТАЦИЯ

В статье представлен обзор современных методов исследования огнезащитных красок на водной основе, применяемых для защиты металлических конструкций. Актуальность темы обусловлена широким использованием таких красок в строительной отрасли и необходимостью всесторонней оценки их свойств и эксплуатационных характеристик.

Цель работы — систематизация и анализ методов, позволяющих комплексно исследовать огнезащитные покрытия в соответствии с требованиями нормативной документации.

В статье приведена классификация методов, включающая пять основных групп: методы оценки огнезащитной эффективности, физико-механических и термических свойств, долговечности и стойкости покрытий к внешним воздействиям, методы анализа химического состава.

Рассмотрены стандартизованные методики испытаний огнезащитной эффективности путем проведения огневых испытаний и оценки коэффициента вспучивания. Проанализированы методы исследования таких важных эксплуатационных характеристик, как адгезионная прочность, стойкость к удару и изгибу, твердость, термостойкость, теплопроводность. Приведены методы ускоренных климатических испытаний и испытаний покрытий в условиях агрессивных сред. Описаны современные инструментальные методы идентификации и количественного определения компонентов покрытий: спектральные, термоаналитические, хроматографические.

Показано, что методы исследований регламентируются государственными (ГОСТ) и международными (ISO) стандартами. Сделан вывод, что только комплексное использование различных методов позволяет всесторонне оценить свойства и характеристики огнезащитных красок и научно обосновать область их применения для защиты металлоконструкций.

Статья представляет интерес для специалистов, занимающихся разработкой, исследованиями и практическим применением современных огнезащитных лакокрасочных материалов.

Ключевые слова: огнезащитные краски, водоразбавляемые краски, методы исследования, огнезащитная эффективность, физико-механические свойства, термический анализ, климатические испытания, долговечность покрытий, спектральный анализ, хроматография

RESEARCH METHODS OF MODERN WATER-BASED FLAME RETARDANT PAINTS FOR THE PROTECTION OF METAL STRUCTURES

Maxim N. Tukhbatulin, Nikolai M. Barbin, Marina V. Elfimova, Natalia V. Khabibullina

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

ABSTRACT

The article provides an overview of modern research methods for water-based flame retardant paints used to protect metal structures. The relevance of the topic is due to the widespread use of such paints in the construction industry and the need for a comprehensive assessment of their properties and performance characteristics.

The purpose of the work is to systematize and analyze methods that allow a comprehensive study of flame retardant coatings in accordance with the requirements of regulatory documentation.

The article presents a classification of methods that includes five main groups: methods for evaluating flame retardant effectiveness, physical, mechanical and thermal properties, durability and resistance of coatings to external influences, methods for analyzing chemical composition.

Standardized methods for testing flame retardant effectiveness by conducting fire tests and evaluating the swelling coefficient are considered. The methods of studying such important performance characteristics as adhesive strength, resistance to impact and bending, hardness, heat resistance, thermal conductivity are analyzed. The methods of accelerated climatic tests and coating tests in aggressive environments are presented. Modern instrumental methods of identification and quantitative determination of coating components - spectral, thermoanalytical, chromatographic - are described.

It is shown that the research methods are regulated by the state (GOST) and international (ISO) standards. It is concluded that only the integrated use of various methods makes it possible to comprehensively assess the properties and characteristics of flame retardant paints and scientifically substantiate the scope of their application for the protection of metal structures.

The article is of interest to specialists involved in the development, research and practical application of modern flame retardant paints and varnishes.

Keywords: flame retardant paints, water-based paints, research methods, flame retardant efficiency, physical and mechanical properties, thermal analysis, climatic tests, durability of coatings, spectral analysis, chromatography

Введение

Огнезащитные краски на водной основе являются важным элементом в обеспечении пожарной безопасности металлических конструкций. Они создают защитный слой на поверхности металла,

который при воздействии высоких температур вспучивается и образует теплоизолирующий барьер, препятствующий нагреву и разрушению конструкции [1]. Ниже рассматриваются современные методы исследования и испытания огнезащитных красок на водной основе, приме-

няемых для защиты металлических конструкций.

Методы исследования современных огнезащитных красок на водной основе для защиты металлических конструкций

Методы исследования огнезащитных красок на водной основе можно разделить на несколько групп, (рис. 1.)

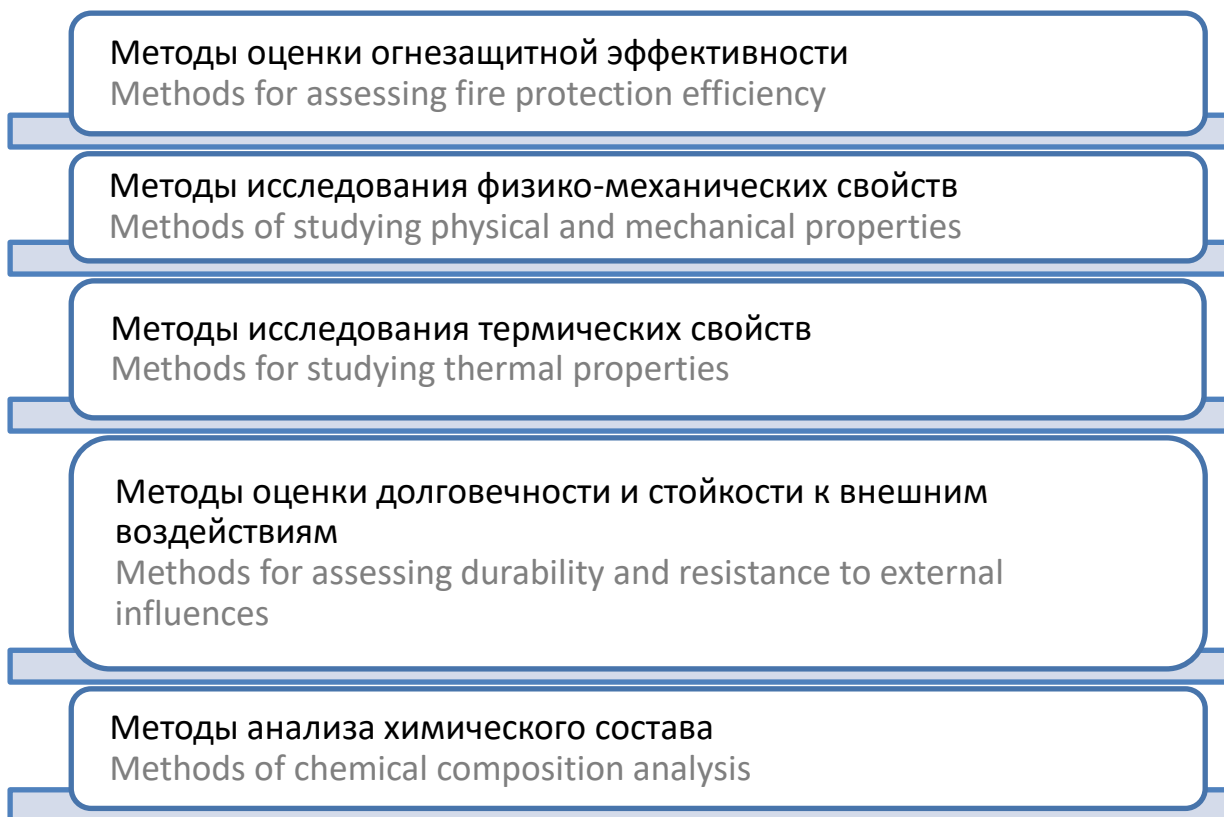


Рис. 1. Методы исследования огнезащитных красок на водной основе для защиты металлических конструкций

Fig. 1. Research methods of water-based flame retardant paints for the protection of metal structures

Рассмотрим каждую группу методов более подробно.

1. Методы оценки огнезащитной эффективности.

Основным показателем эффективности огнезащитной краски является ее способность обеспечивать требуемый предел огнестойкости защищаемой металлической конструкции. Для оценки этого показателя проводятся огневые испытания по ГОСТ Р 53295—2009 «Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности» [2].

Суть метода заключается в нагреве образцов металлических конструкций с нанесенным огнезащитным покрытием в специальных печах по стандартному температурному режиму, соответствующему развитию реального пожара. В процессе испытаний фиксируется время от начала теплового воздействия до достижения критической температуры стали (обычно 500 °С), при которой конструкция теряет несущую способность. Это время и является пределом огнестойкости.

Для классификации средств огнезащиты по пределам огнестойкости применяется ГОСТ Р 53295—2009. Согласно

этому стандарту, огнезащитные покрытия делятся на следующие группы:

- 1 группа — не менее 150 мин;
- 2 группа — от 120 до 150 мин;
- 3 группа — от 90 до 120 мин;
- 4 группа — от 60 до 90 мин;
- 5 группа — от 45 до 60 мин;
- 6 группа — от 30 до 45 мин [2].

Кроме того, важной характеристикой является способность огнезащитных покрытий к вспучиванию и образованию теплоизолирующего слоя пены при нагреве.

2. Методы исследования физико-механических свойств.

К физико-механическим свойствам огнезащитных покрытий относятся:

- адгезия к защищаемой поверхности;
- прочность покрытия при ударе;
- эластичность;
- стойкость к растрескиванию;
- твердость [3].

Нормативные документы, регламентирующие методы испытаний приведены в табл. 2.

Адгезию определяют методом решетчатых надрезов по ГОСТ 31149–2014 или методом отрыва по ГОСТ 32299–2013. Прочность при ударе исследуют по ГОСТ 4765–73, эластичность при изгибе — по ГОСТ 6806–73, стойкость к растрескиванию - по ГОСТ 29317–92, твердость — по ГОСТ 5233–89.

3. Методы исследования термических свойств.

К термическим свойствам относятся термостойкость, устойчивость к резким перепадам температур, температура размягчения, коэффициент теплопроводности [10].

Термостойкость и теплопроводность покрытий исследуют по ГОСТ 23630.2-79 термогравиметрическим методом. Температуру размягчения определяют по ГОСТ 32618.2–2014.

4. Методы оценки долговечности и стойкости к внешним воздействиям.

Долговечность огнезащитных покрытий и их стойкость к воздействию атмосферных факторов, агрессивных сред, УФ-излучения и других внешних воздействий оценивают с помощью ускоренных климатических испытаний.

Для имитации атмосферных воздействий применяют климатические камеры по ГОСТ Р 9.401–2018, где образцы покрытий подвергают многократным циклическим воздействиям переменных температур, влажности и солнечного излучения.

Стойкость к агрессивным средам, например к солевому туману, определяют по ГОСТ Р 52763–2007. Устойчивость к химическим реагентам исследуют по методикам ГОСТ 12020–72.

Для прогнозирования долговечности покрытий в натуральных условиях проводят испытания на атмосферных стендах в различных климатических зонах.

5. Методы анализа химического состава.

Для идентификации и определения количественного содержания компонентов огнезащитных покрытий применяют современные инструментальные методы химического анализа:

- инфракрасную спектроскопию;
- рентгенофлуоресцентный анализ;
- термогравиметрический анализ совмещенный с ИК-Фурье спектроскопией и масс-спектрометрией;
- атомно-эмиссионную спектрометрию с индуктивно-связанной плазмой;
- газовую и жидкостную хроматографию [4].

Эти методы позволяют контролировать состав огнезащитных материалов, наличие и содержание функциональных добавок, пигментов, наполнителей и других ингредиентов.

Результаты и их обсуждение

На сегодняшний день существует обширный арсенал методов и средств исследования, которые позволяют всесторонне охарактеризовать свойства и эксплуатационные характеристики современных огнезащитных красок на водной основе.

Ключевым методом оценки является испытание на огнезащитную эффективность, которое проводится на образцах

металлических конструкций в условиях, моделирующих реальный пожар [5]. Метод позволяет определить предел огнестойкости покрытия и классифицировать его согласно нормативным требованиям.

Основные группы методов исследования огнезащитных красок приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные группы методов исследования огнезащитных красок

Table 1

The main groups of research methods of flame retardant paints

Группа методов Group of methods	Назначение Purpose	Основные методы Basic methods
Оценка огнезащитной эффективности Evaluation of fire protection efficiency	Определение предела огнестойкости защищенных конструкций, коэффициента вспучивания Determination of the fire resistance limit of protected structures, the swelling coefficient	Огневые испытания по ГОСТ Р 53295, измерение толщины до и после нагрева по ГОСТ Р 53293 Fire tests according to GOST R 53295, thickness measurement before and after heating according to GOST R 53293
Исследование физико-механических свойств Study of physical and mechanical properties	Оценка адгезии, прочности, эластичности, твердости покрытия Evaluation of adhesion, strength, elasticity, hardness of the coating	Методы решетчатых надрезов и отрыва по ГОСТу, испытания на удар, изгиб, твердость Methods of lattice cuts and tearing according to GOST, impact, bending, hardness tests
Исследование термических свойств Thermal properties study	Определение термостойкости, теплопроводности, температуры размягчения Determination of heat resistance, thermal conductivity, softening temperature	Термогравиметрический анализ, измерения по ГОСТу Thermogravimetric analysis, measurements according to GOST
Оценка долговечности и стойкости Durability and resistance assessment	Прогнозирование срока службы в различных условиях Predicting service life under different conditions	Ускоренные климатические испытания, испытания в агрессивных средах Accelerated climatic tests, tests in aggressive environments
Анализ химического состава Chemical composition analysis	Идентификация компонентов, контроль рецептур Identification of components, control of recipes	Спектральные, термоаналитические, хроматографические методы Spectral, thermoanalytical, chromatographic methods

Таблица 2
 Нормативные документы, регламентирующие методы испытаний
Table 2
 Regulatory documents regulating test methods

Свойство/характеристика Property/Characteristic	Документ Document
Огнезащитная эффективность Fire protection efficiency	ГОСТ Р 53295 GOST R 53295
Коэффициент вспучивания Swelling coefficient	ГОСТ Р 53293 GOST R 53293
Адгезия Adhesion	ГОСТ 31149, ГОСТ 32299, ISO 16276 GOST 31149, GOST 32299, ISO 16276
Физико-механические свойства Physical and mechanical properties	ГОСТ 4765, 6806, 29317, 5233 GOST 4765, 6806, 29317, 5233
Термические свойства Thermal properties	ГОСТ 23630.2, 32618.2 GOST 23630.2, 32618.2
Стойкость к климатическим воздействиям Resistance to climatic influences	ГОСТ 9.401 GOST 9.401
Стойкость к агрессивным средам Resistance to aggressive environments	ГОСТ 12020 GOST 9.401

Не менее важную роль играют методы исследования физико-механических свойств — адгезии, прочности, эластичности, твердости. Они характеризуют способность покрытия противостоять эксплуатационным нагрузкам и воздействиям без разрушения и отслаивания.

Термические свойства, такие как термостойкость, теплопроводность, температура размягчения, обуславливают работоспособность огнезащитного покрытия в условиях реального пожара [6].

Долговечность и стойкость к внешним воздействиям, оцениваемые с помощью ускоренных климатических испытаний, позволяют спрогнозировать срок службы покрытий в реальной эксплуатации [7–14].

Современные методы позволяют всесторонне исследовать и оценить свойства и эксплуатационные характеристики огнезащитных красок на водной основе. Испытания проводятся по целому ряду государственных и международных стан-

дартов. Современные краски на водной основе сочетают высокую огнезащитную эффективность до 120 минут (табл. 3), технологичность нанесения, экологичность и безопасность [15]. Методы химического анализа дают возможность контролировать состав покрытий, оптимизировать рецептуры, исследовать механизмы огнезащитного действия.

Современные методы позволяют всесторонне исследовать и оценить свойства и эксплуатационные характеристики огнезащитных красок на водной основе. Испытания проводятся по целому ряду государственных и международных стандартов. Современные краски на водной основе сочетают высокую огнезащитную эффективность до 120 минут, технологичность нанесения, экологичность и безопасность [15]. Методы химического анализа дают возможность контролировать состав покрытий, оптимизировать рецептуры, исследовать механизмы огнезащитного действия.

Таблица 3
Основные современные огнезащитные краски на водной основе

Table 3
The main modern water-based flame retardant paints

Марка Brand	Основные компоненты Main components	Преимущества Advantages	Предел огнестойкости, мин Fire resistance limit, min
ОСМ-1 «Гефест» OSM-1 "Gefest"	Мелкодисперсный состав на водной основе Finely dispersed water-based composition	Нанесение распылением, экологичность Spray application, eco-friendliness	До 90 Up to 90
NEO ВД-АК-502ОВ NEO VD-АК-502OV	Антипирены, акриловые полимеры, функциональные добавки Flame retardants, acrylic polymers, functional additives	Антикоррозионные свойства, колеровка Anticorrosive properties, tinting	До 120 Up to 120
PIREX-METAL Plus	Вспучивающаяся композиция на основе водных дисперсий полимеров Intumescent composition based on aqueous polymer dispersions	Сертифицирован, однокомпонентный, колеровка Certified, one-component, tinting	До 120 Up to 120
ПЛАМКОР-1 PLAMKOR-1	Акриловая дисперсия, газо- и пенообразующие наполнители Acrylic dispersion, gas and foam-forming fillers	Пожаровзрывобезопасность, экологичность Fire and explosion safety, eco-friendliness	До 90 Up to 90
Феникс СТВ Phoenix STV	Терморасширяющийся состав на водной основе Water-based thermally expanding compound	Пожаробезопасность, нетоксичность Fire safety, non-toxicity	До 90 Up to 90
Огнезащитная краска КНТ-1 Fire-retardant paint KNT-1	Полимерное связующее (эпоксидные или акриловые смолы), антипирены (фосфорсодержащие и галогенсодержащие соединения) Polymer binder (epoxy or acrylic resins), fire retardants (phosphorus-containing and halogen-containing compounds)	Высокая адгезия к различным типам поверхностей, образует прочное огнезащитное покрытие, устойчивость к атмосферным воздействиям High adhesion to various types of surfaces, forms a durable fire-protective coating, resistant to atmospheric influences	До 90 Up to 90

Лабораторный комплекс для исследований лакокрасочных покрытий (ЛКП), в соответствии с отечественными (ГОСТ) и международными (ISO) стандартами, должен включать следующее оборудование и инструменты.

1. Приборы для оценки внешнего вида покрытий (ГОСТ 9.407, ГОСТ 25706, ГОСТ 7048): бинокль, лупы (5–10-кратного увеличения), инспекционные поворотные зеркала.

2. Толщиномеры покрытий для измерения толщины ЛКП на металлических подложках (ГОСТ 31993, ISO 2808): магнитные толщиномеры типа Salu Tron D4/D5, ультразвуковые толщиномеры, микрометры.

3. Приборы для измерения температуры и влажности воздуха: ртутные термометры, термогигрометры.

4. Инструменты для измерения размеров дефектов покрытия (ГОСТ 166, ТУ 3936-214-54769955): штангенциркули с ценой деления 0,1 мм.

5. Оборудование для термического анализа образцов ЛКП (ГОСТ Р 53293): термоанализатор синхронный модификации STA 449 F5 Jupiter STA для проведения термогравиметрии (ТГ), дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК), дифференциального термического анализа (ДТА).

6. Устройства для отбора проб покрытий: скальпели, строительные ножи.

7. Приборы для исследования физико-механических свойств ЛКП:

- адгезиметры для измерения адгезии методами решетчатых надрезов и отрыва (ГОСТ 15140, ГОСТ 31149, ISO 2409, ISO 16276).

- приборы для определения прочности покрытий при ударе (ГОСТ 4765).

- Шкала гибкости для оценки эластичности покрытия при изгибе (ГОСТ 6806).

- твердомеры для измерения твердости ЛКП (ГОСТ 5233).

8. Камеры и установки для ускоренных климатических испытаний покрытий (ГОСТ 9.401).

9. Камеры соляного тумана для испытания стойкости ЛКП к воздействию агрессивных сред (ГОСТ 52763).

10. Аналитическое оборудование для исследования химического состава ЛКП:

- ик-фурье спектрометры.
- рентгенофлуоресцентные спектрометры.

- приборы термического анализа с масс-спектрометрическими детекторами.

- атомно-эмиссионные спектрометры с индуктивно-связанной плазмой.

- газовые и жидкостные хроматографы [16].

Лабораторный комплекс должен обеспечивать контролируемые условия по температуре и влажности воздуха. Исследования проводят по стандартным методикам с обработкой результатов методами математической статистики. Комплексное использование перечисленного оборудования позволяет всесторонне исследовать и оценить свойства лакокрасочных покрытий в соответствии с требованиями отечественной и международной нормативной документации [11].

Контроль качества огнезащитных покрытий на основе красок на водной основе, применяемых для защиты металлических конструкций, проводится в соответствии с требованиями нормативных документов (ГОСТ Р 53295, НПБ 236 и др.) и включает следующие методы (рис.2).

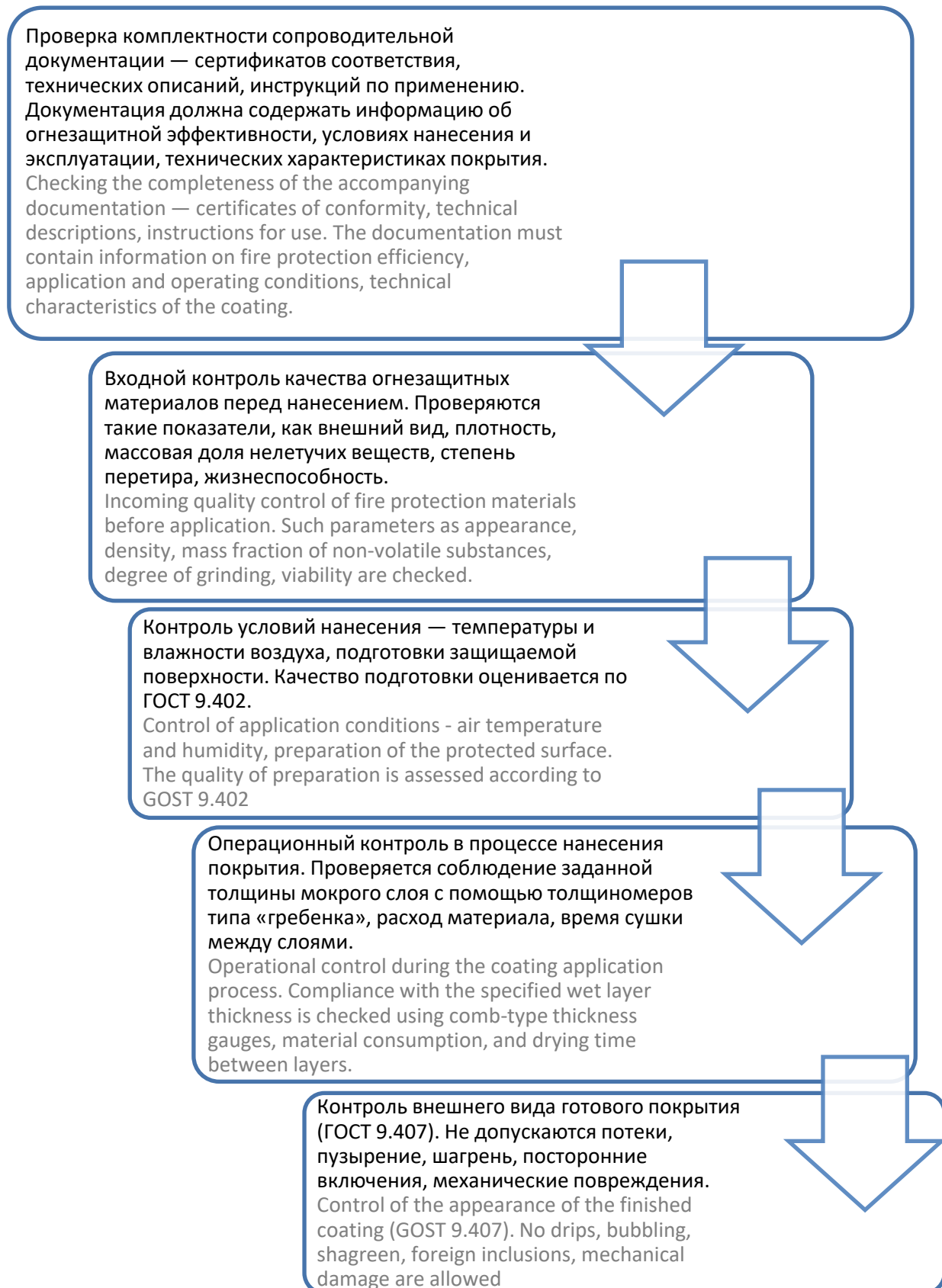


Рис. 2. Контроль качества огнезащитных покрытий

Fig. 2. Quality control of flame retardant coatings

Периодичность контроля и объем испытаний устанавливаются в зависимости от вида и объемов выполняемых работ [17]. При необходимости могут привлекаться специализированные организации, аккредитованные в области испытаний средств огнезащиты.

Результаты контроля качества фиксируются в журналах производства работ, актах на скрытые работы, протоколах испытаний и являются основанием для оценки соответствия выполненной огнезащитной обработки проектным требованиям и нормам.

Выводы

Методы исследования современных огнезащитных красок на водной основе для защиты металлических конструкций охватывают оценку огнезащитной эффективности, физико-механических и термических свойств покрытий, их долговечности и стойкости к внешним воздействиям, а также анализ химического состава.

Испытания проводятся в соответствии с государственными стандартами и сводами правил. основополагающим является ГОСТ Р 53295–2009, регламентиру-

ющий метод определения огнезащитной эффективности на стандартных образцах металлических конструкций в условиях специальных огневых печей. По результатам испытаний покрытия классифицируются на группы огнезащитной эффективности.

Физико-механические характеристики исследуют по стандартным методикам, включающим определение адгезии, прочности при ударе, эластичности, твердости, трещиностойкости.

Термические свойства оценивают с помощью термогравиметрических измерений, долговечность — ускоренными климатическими испытаниями.

Для контроля химического состава применяют современные спектральные, хроматографические, термоаналитические методы.

Комплексное применение обсужденных методов позволяет получить достоверную и полную информацию о свойствах и характеристиках современных огнезащитных покрытий на водной основе и научно обосновать область их применения для защиты металлических конструкций.

СПИСОК ИСТОЧНИК

1. Абдикаримов М. Н., Жубанов Б. А. Изучение процессов пиролиза и горючести красок на основе сополимеров винилацетата // Известия ЮФУ. Технические науки. 2013. № 8 (145). С. 237–244.
2. 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 : введен 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).
3. Мартынов А. В., Греков В. В., Попова О. В. Огнестойкость строительного элемента с интумесцентной огнезащитой: стандартная оценка и экспресс-анализ // Безопасность техногенных и природных систем. 2023. Т. 7, № 2. С. 38–46.
4. Уткин С. В., Семенова Н. В. Изучение огнезащитных свойств вспенивающихся составов по металлическим конструкциям при их эксплуатации // Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности. 2015. № 3. С. 43–46.
5. Модификация тонкослойных огнезащитных покрытий многослойными углеродными нанотрубками: физико-технологические принципы и методика применения для объектов трубопроводного транспорта / А. В. Иванов [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2019. Т. 28, № 5. С. 39–50.
6. 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.

7. Aqlibous A., Tretsiakova-McNally S., Fateh T. Waterborne intumescent coatings containing industrial and bio-fillers for fire protection of timber materials // *Polymers*. 2020. T. 12, № 4. С. 757.
8. Kumar S., Kumar S., Namburi E. P. *Functional Paints and Coatings // Novel Defence Functional and Engineering Materials (NDFEM)*. Singapore : Springer Nature Singapore, 2024. T. 1: Functional Materials for Defence Applications. С. 219–246.
9. Waterborne Intumescent Fire-Retardant Polymer Composite Coatings: a review / Y. Li et al. // *Polymers*. 2024. T. 16, № 16. С. 2353.
10. Mariappan T. Recent developments of intumescent fire protection coatings for structural steel: a review // *Journal of fire sciences*. 2016. T. 34, № 2. С. 120–163.
11. Latest trends for structural steel protection by using intumescent fire protective coatings: a review / M. Yasir et al. // *Surface Engineering*. 2020. T. 36, № 4. С. 334–363.
12. Uslu B., Toğay Ş. M. E., Dilsiz N. Improvement on flame retarding performance: Preparation and characterization of water-based indoor paints with addition of boric acid // *Journal of Boron*. 2021. T. 6, № 2. С. 309–315.
13. Improving the fire-retardant performance of industrial reactive coatings for steel building structures / L. Vakhitova et al. // *Heliyon*. 2024. T. 10, № 14.
14. Wang K., Le H. The development of cement-based, intumescent and geopolymer fire-retardation coatings for metal structures: a review // *Coatings*. 2023. T. 13, № 3. С. 495.
15. Оценка совместимости огнезащитных составов по металлу с грунтовочными покрытиями для достижения максимальной эффективности средств огнезащиты / Ю. В. Кривцов [и др.] // *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2023. № 38 (3). С. 7–19.
16. Моделирование номограмм прогрева стальных конструкций с огнезащитными покрытиями различной толщины (на воде) / Д. А. Корольченко [и др.] // *Пожаровзрывобезопасность*. 2022. T. 31, № 6. С. 30–46.
17. Степанова А. Н. Исследование изменений поверхности огнезащитной краски после облучения бета-частицами методом атомно-силовой микроскопии // *Биотехнологии и безопасность в техносфере : сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции 11-12 апреля 2023 года*. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. С. 12–14.

REFERENCES

1. Abdikarimov M.N., Zhubanov B.A. Study of pyrolysis and flammability of paints based on vinyl acetate copolymers // *News of the Southern Federal University. Technical sciences*. 2013; 8 (145): 237–244 (rus).
2. GOST R 53295-2009 "Fire protection products for steel structures. General requirements. Method for determining flame retardant effectiveness". 2015. (rus).
3. Martynov A.V., Grekov V.V., Popova O.V. Fire resistance of a building element with intumescent fire protection: standard assessment and express analysis // *Safety of technogenic and natural systems*. 2023; 7(2): 38–46. (rus).
4. Utkin S.V., Semenova N.V. The study of flame retardant properties of foaming compounds for metal structures during their operation // *Supervisory activity and forensic examination in the security system*. 2015; 3: 43–46. (rus).
5. Ivanov A.V., Boeva A.A., Dementiev F.A., Ryabov A.A. Modification of thin-layer flame retardant coatings with multilayer carbon nanotubes: physical and technological principles and methods of application for pipeline transport facilities // *Fire and explosion safety*. 2019; 28(5): 39–50. (rus).
6. Komarova M.A., Grishin I.A., Shalabin M.V., Melnikov N.O. Development of test methods for fire-resistant coatings of steel building structures during operation // *Bulletin of SIC Construction*. 2024; 1 (40): 21–34. (rus).
7. Aqlibous A., Tretsiakova-McNally S., Fateh T. Waterborne intumescent coatings containing industrial and bio-fillers for fire protection of timber materials // *Polymers*. 2020; 12(4): 757.
8. Kumar S., Kumar S., Namburi E. P. *Functional Paints and Coatings // Novel Defence Functional and Engineering Materials (NDFEM) Volume 1: Functional Materials for Defence Applications*. – Singapore : Springer Nature Singapore. 2024; 219–246.
9. Li Y. et al. Waterborne Intumescent Fire-Retardant Polymer Composite Coatings: A Review // *Polymers*. 2024; 16 (16): 2353.
10. Mariappan T. Recent developments of intumescent fire protection coatings for structural steel: A review // *Journal of fire sciences*. 2016; 34 (2): 120–163.
11. Yasir M. et al. Latest trends for structural steel protection by using intumescent fire protective coatings: a review // *Surface Engineering*. 2020; 36 (4): 334–363.

12. Uslu B., Toğay Ş. M. E., Dilsiz N. Improvement on flame retarding performance: Preparation and characterization of water-based indoor paints with addition of boric acid // *Journal of Boron*. 2021; 6(2): 309–315.
13. Vakhitova L. et al. Improving the fire-retardant performance of industrial reactive coatings for steel building structures // *Heliyon*. 2024; 10 (14). (rus).
14. Wang K., Le H. The development of cement-based, intumescent and geopolymer fire-retardation coatings for metal structures: a review // *Coatings*. 2023; 13(3): 495.
15. Krivtsov Yu.V., Ladygina I.R., Komarova M.A., Khaidarov A.U., Eremina G.P., Groshev Yu.M. Assessment of compatibility of flame retardants for metal with primer coatings to achieve maximum effectiveness of fire protection products. *Bulletin of the SIC "Construction"*. 2023; 38(3):7–19. (rus).
16. Korolchenko D.A., Eremina T.Yu., Puzach S.V., Portnov F.A. Modeling of nomograms for heating steel structures with fire-resistant coatings of various thicknesses (on water) // *Fire and explosion safety*. 2022; 31 (6): 30–46. (rus).
17. Stepanova A.N. Investigation of changes in the surface of flame retardant paint after irradiation with beta particles by atomic force microscopy // In the collection: *Biotechnology and safety in the technosphere. Collection of materials of the All-Russian scientific and practical conference. conferences on April 11-12, 2023*. St. Petersburg: POLYTECH-PRESS; 12–14. (rus).

Информация об авторах

Тухбатулин Максим Наильевич, адъюнкт, Уральский институт ГПС МЧС России, Россия, 620062, Свердловская область, г. Екатеринбург, улица Мира, д. 22, SPIN-код: 8215-9288, AuthorID: 1254387, ORCID: 0009-0004-4586-1143; e-mail: tuchbatulin93@mail.ru

Барбин Николай Михайлович, доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник научно-исследовательского отделения учебно-научного комплекса пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ, Уральский институт ГПС МЧС России, Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22, SPIN-код: 9179-6428, AuthorID: 31647, ORCID: 0000-0002-6709-4334; e-mail: nmbarbin@mail.ru

Елфимова Марина Владимировна, кандидат технических наук, доцент, заместитель начальника института по научной работе, Уральский институт ГПС МЧС России, Россия 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22; Author ID: 818459

Хабидулина Наталия Валерьевна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела, Уральский

Information about the authors

Maxim N. Tuchbatulin, adjunct, Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Mira str., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation, SPIN-код: 8215-9288, AuthorID: 1254387, ORCID: 0009-0004-4586-1143 e-mail: tuchbatulin93@mail.ru

Nikolai M. Barbin, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher of the Research Department of the Educational and Scientific Complex of Fire Extinguishing and Emergency Rescue Operations, Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Mira str., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation, SPIN-код: 9179-6428, AuthorID: 31647, ORCID: 0000-0002-6709-4334 e-mail: nmbarbin@mail.ru

Marina V. Elfimova, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Deputy Head of the Institute for Scientific Work, Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; Author ID: 818459

Natalia V. Khabibullina, Cand. Sci. (Agricultural), Senior Researcher of the Research Department, Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Mira

институт ГПС МЧС России, Россия, 620062,
г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22; Author
ID: 759109; ORCID ID: 0009-0008-4435-
4202

St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian
Federation; Author ID: 759109;
ORCID ID: 0009-0008-4435-4202