

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ TECHNOSPHERE SAFETY



УДК 667:620.199

<https://doi.org/10.23947/2541-9129-2023-7-2-38-46>

Научная статья



Огнестойкость строительного элемента с интумесцентной огнезащитой: стандартная оценка и экспресс-анализ

 А.В. Мартынов¹, В.В. Греков¹, О.В. Попова²✉

¹ ООО «Строительство Качество Безопасность», Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пр. Космонавтов, 37, оф. 68, 69

² Донской государственный технический университет, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
✉ olvp2808@rambler.ru

Аннотация

Введение. Рассматривается проблема оценки огнестойкости строительных конструкций с интумесцентной огнезащитой. Для получения достоверных результатов нужно проводить огневое испытание только после полной готовности интумесцентного покрытия на объекте. Такой подход позволит выявить низкое качество материала и предотвратить обрушение при возможном пожаре. Цель исследования — испытание экспресс-анализа интумесцентных покрытий в сравнении со стандартными методами оценки огнестойкости.

Материалы и методы. Исследовались элементы строительных конструкций, покрытые огнезащитной интумесцентной краской Defender M Solvent с различным содержанием разбавителя. Огнестойкость покрытий определяли двумя методами. Первый — экспресс-анализ. Фиксировались следующие показатели:

- общий вид пенококса (ПК);
- коэффициент вспучивания;
- прочность ПК на сжатие и на сдвиг-отрыв приграничного слоя.

Второй — стандартный подход согласно требованиям ISO 834–75 (ГОСТ 30247.0–94). Показатели:

- время достижения критической температуры;
- критический прогиб при нагревании.

Результаты исследования. Кроме заявленных выше показателей тестирование учитывало также количество разбавителя. Рассматривались коэффициент вспучивания ПК, сила сжатия ПК, предел прочности и плотность. Выявленные закономерности систематизированы в табличном виде. Полученные показатели сопоставлялись с техническими требованиями к материалу. Зафиксирован период, в течение которого стальная подложка образца достигает критической температуры. Установлено, что с увеличением этого времени повышается коэффициент вспучивания защитного слоя (ПК) и его прочности на сдвиг-отрыв. Одновременно уменьшаются значения прочности на сжатие и плотности ПК. При разбавлении интумесцентной краски сверх нормы ухудшаются параметры огнезащиты и не достигается предел огнестойкости R45. Итоги изысканий визуализированы в виде диаграмм. Они подтверждают, что экспресс-анализ позволяет обоснованно судить о пригодности или непригодности краски для огнезащиты, если требуемый предел огнестойкости — R45.

Обсуждение и заключения. В сопоставлении с результатами применения стандартных методик подтверждена эффективность методики экспресс-анализа и корректность результатов оценки интумесцентной огнезащиты. В условиях стройки экспресс-анализа ПК будет достаточно для определения качества интумесцентного огнезащитного покрытия.

Ключевые слова: огнестойкость, интумесцентное покрытие, пенококс, метод экспресс-анализа, предел прочности, критическая температура, коэффициент вспучивания, пожаробезопасные конструкции.

Благодарности. Авторы выражают благодарность редакционной коллегии журнала и рецензенту за профессиональный анализ и рекомендации для корректировки статьи.

Для цитирования. 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;7(2):38–46. <https://doi.org/10.23947/2541-9129-2023-7-2-38-46>

Original article

Fire Resistance of a Building Element with Intumescent Fire Protection: Standard Assessment and Express Analysis

Aleksey V Martynov¹ , Vasily V Grekov¹ , Olga V Popova² 

² Stroitel'stvo Kachestvo Bezopasnost' OOO, 68, 69 office, 37, Kosmonavtov Avenue, Rostov-on-Don, Russian Federation

¹ Don State Technical University, 1, Gagarin Square, Rostov-on-Don, Russian Federation

✉ olvp2808@rambler.ru

Abstract

Introduction. The paper considers the problem of fire resistance assessment of building structures with intumescent fire protection. For the results reliability, a fire test should be carried out only when the intumescent coating at the facility is ready, which will make it possible to detect hidden factors of violation of its quality and prevent collapse in case of a possible fire. The work objective is to test the express analysis of intumescent coatings in comparison with standard methods for fire resistance assessment.

Materials and Methods. The elements of building structures covered with fire-resistant intumescent paint Defender M Solvent with different diluent content were studied. The fire resistance of the coatings was determined by two methods. The first one is an express analysis. The following indicators were recorded:

- general appearance of the coked cellular material (CCM);
- swelling coefficient;
- CCM compressive and shear-tear strength of the boundary layer.

The second one is a standard approach according to the requirements of ISO 834-75 (GOST 30247.0-94). The indicators were:

- time to reach the critical temperature;
- critical deflection during heating.

Results. In addition to the above indicators, testing also took into account the amount of diluent. The CCM swelling coefficient, CCM compression force, tensile strength and density were considered. The revealed patterns are systematized in a table. The obtained indicators were compared with the technical requirements for the material. The period during which the steel substrate of the sample reaches a critical temperature is recorded. It is established that with an increase in this time, the coefficient of swelling of the protective layer (CCM) and its shear-tear strength increases. At the same time, the values of compressive strength and CCM density decrease. When the intumescent paint is diluted beyond the norm, the fire protection parameters deteriorate and the fire resistance limit R45 is not reached. The research results are visualized in the form of diagrams. They confirm that the express analysis makes it possible to reasonably judge the suitability or unsuitability of the paint for fire protection, if the required fire resistance limit is R45.

Discussion and Conclusions. In comparison with the results of the application of standard techniques, the effectiveness of the express analysis technique and the correctness of the results of the assessment of intumescent fire protection were confirmed. In construction conditions, an express CCM analysis will be sufficient to determine the quality of an intumescent fire retardant coating.

Keywords: fire resistance, intumescent coating, coked cellular material, express analysis method, tensile strength, critical temperature, swelling coefficient, fireproof structures.

Acknowledgments. The authors express their gratitude to the editorial board of the journal and the reviewer for their professional analysis and recommendations for correcting the article.

For citation. Martynov AV, Grekov VV, Popova OV. 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. <https://doi.org/10.23947/2541-9129-2023-7-2-38-46>

Введение. При проектировании относительно пожаробезопасных железобетонных и стальных конструкций широко применяются интумесцентные покрытия. Этим объясняется интерес исследователей к оценке огнезащитной эффективности таких материалов [1–3]. В публикациях критикуются неинформативные методики, основанные на стандартных испытаниях огнестойкости. Для решения проблемы предлагаются

комплексные подходы к изучению эффективности интумесцентных покрытий, которые вспучиваются под действием огня [1, 2]. Они должны соответствовать определенным стандартам. В академических исследованиях затруднительно установить соответствие материала промышленным стандартам. Две основные причины:

- необходимое стационарное оборудование, как правило, недоступно;
- эксперименты требуют длительного времени и значительных ресурсов (в частности, энергетических).

Однако авторы работ [4, 5] используют некоторые промышленные стандарты — кривые номинальной температуры и времени. Отметим, что параметры реального пожара в современном здании могут существенно отличаться от номинальных кривых, определенных в промышленных стандартах [6–8]. Тем не менее промышленные стандарты остаются основным ориентиром. Международный стандарт испытаний на огнестойкость строительных конструкций ISO 834-75 (ГОСТ 30247.0-94)¹ определяет общие требования к методам огневого воздействия для установления предельных состояний.

Исследования и разработки интумесцентных покрытий проходят в разных условиях. Задействуется разное испытательное оборудование. Это позволяет быстро проверять новые рецептуры покрытий [4, 5, 9, 10], проводить испытания в нестандартных условиях пожара [11, 12] и измерять дополнительные параметры [13, 14]. Большинство авторов уделяют внимание прочности и адгезии собственно краски, не обращая внимания на механические свойства пенококса (ПК). Однако готовый лакокрасочный слой не является огнезащитой. Корректнее представить его как запас материалов для формирования такой защиты, т. е. для трансформирования в другой материал — пенококс. Авторы публикаций [15–17] исследовали прочность пенококса на стационарном лабораторном оборудовании.

Эффективность покрытия определяется главным образом толщиной интумесцентного слоя и степенью разбавления готовой краски непосредственно перед нанесением. Все это влияет на качество ПК — толщину слоя и плотность. Современные стандарты не позволяют установить названные показатели при внешнем осмотре слоя краски, измерении его толщины и фиксации условной адгезии [18].

Авторы представленной работы разработали метод экспресс-анализа, который позволяет оперативно выявить фактическую пригодность огнезащиты. При этом задействуется простое и недорогое оборудование, нет необходимости в специальных лабораторных условиях и высоких энергозатратах. Качество огнезащиты можно определить непосредственно на строительной конструкции [19, 20].

Цель работы — обоснование эффективности разработанного авторами экспресс-метода оценки эффективности интумесцентных покрытий строительных конструкций. Предложенный подход испытывается и сравнивается со стандартными способами оценки огнестойкости.

Материалы и методы. При испытаниях огнезащитных свойств элементов металлической строительной конструкции применяли три различных варианта интумесцентного (вспучивающегося) материала:

- краска средней ценовой категории Defender M Solvent ООО «Лаборатория «Евростиль»» с параметрами, заявленными в технической документации (состав 1);
- та же краска, разбавленная 6 % мас. ортоксилолом, что немного превышает максимум, заявленный в технической документации (состав 2);
- та же краска, избыточно разбавленная ортоксилолом — 10 % мас. (состав 3).

Отметим, что излишнее разбавление нередко встречается на практике. Речь идет о случаях, когда вязкость краски корректируют с помощью неподходящего, дешевого оборудования для нанесения покрытия или чрезмерно разбавляют с целью экономии краски [18]. По инструкции разбавление не должно превышать 5 %.

В рамках работы защищали два вида конструкций.

1. Горячекатаные двутавры с параллельными полками № 12 (ГОСТ Р 57837-2017). Толщина слоя готового красочного покрытия после сушки — 1–1,2 мм. Вертикально ориентированная в печи конструкция (колонна) испытывалась на огнезащитную эффективность по параметру «время достижения критической температуры».

2. Балки сортамента 35Ш1 длиной 4,2 м с тонкослойным огнезащитным покрытием 0,87 мм. Горизонтально ориентированная в печи балка с нагрузкой испытывалась на огнестойкость конструкции по параметру «критический прогиб при нагревании».

Покрытия после нанесения на конструкции сушили до полного удаления разбавителя — 10–14 дней при температуре +20 °С и влажности не более 80 %. Проводили испытания для каждого образца по разработанному

¹ ГОСТ 30247.0-94 (ИСО 834-75). *Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования.* Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/9055248> (дата обращения: 10.04.2023).

методу экспресс-анализа [19], после чего покрытия в местах испытаний восстанавливали. Далее проводили испытания для каждого образца в факельной печи согласно ГОСТ Р 53295-2009² и ГОСТ 30247.1-94³.

Результаты испытаний по методу экспресс-анализа оценивали по показателям:

- общий вид ПК;
- коэффициент вспучивания;
- прочность ПК на сжатие;
- прочность ПК на сдвиг-отрыв приграничного слоя ПК толщиной 1 мм от подложки (по методике, описанной в [19]).

Дополнительно в условиях лаборатории измеряли плотность ПК.

Оценивалось время достижения критической температуры защищаемого материала по ГОСТ Р 53295-2009. Для этого строили температурную кривую — зависимость критической температуры стальной подложки от времени проведения огневого испытания. Условия испытаний:

- температура окружающей среды — +18° С;
- относительная влажность воздуха — 30 %;
- скорость движения воздуха — менее 0,5 м/с.

Средние температуры в огневой камере печи не превышали допустимых отклонений. Огнестойкость конструкции до достижения предельно допустимой деформации балок при огневом воздействии определяли в специальной горизонтальной печи. Балки с покрытиями испытывали под точечной нагрузкой 16 т через каждые 1/3 пролета. В процессе испытаний регистрировали время наступления предельных состояний и их вид, температуру в печи, температуру на необогреваемой поверхности образца, деформацию балки, температурный режим в камере.

Результаты исследования. После проведения огневых испытаний по стандартной методике и методике экспресс-анализа [19] образцы осмотрели и измерили их физико-механические параметры. Результаты свели в таблице 1. Здесь же представлены итоги измерений плотности ПК, не предусмотренные методикой экспресс-анализа [19].

Таблица 1

Результаты испытаний интумесцентной огнезащиты методом экспресс-анализа и по ГОСТ Р 53295-2009

Параметр	Состав 1	Состав 2	Состав 3
Количество разбавителя в ИК, % мас.	0	5	10
Время достижения критической температуры подложки (+500 °С), мин	47	34	27
Коэффициент вспучивания ПК	36	17	11
Сила сжатия ПК вне газовых пузырей, при инденторе диаметром 3 мм, гс	6	14	27
Предел прочности на сжатие ПК, гс/см ²	86	200	360
Предел прочности на сдвиг и отрыв приграничного слоя ПК от подложки, гс/см	78	56	42
Плотность ПК вне крупных газовых пузырей, г/см ³	0,28	0,44	0,51
Плотность ПК с учетом крупных газовых пузырей, г/см ³	0,28	0,14	0,45

На рис. 1 показаны испытание на огнестойкость в стандартной печи и формирование пенококса из интумесцентной краски составов 1–3 на металлической колонне двутаврового сечения.

² ГОСТ Р 53295-2009. Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200071913> (дата обращения: 10.04.2023).

³ ГОСТ 30247.1-94. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/9055247> (дата обращения: 10.04.2023).



а) б)

Рис. 1. Результат огневого испытания в стандартной печи двутавровой колонны с интумесцентным покрытием составом 1: а — через 10 мин после начала обжига; б — через 30 мин

Рассмотрим результаты испытаний стандартным методом. При нагреве образца, покрытого составом 1, через 47 мин фиксируется предельное состояние по параметрам «время достижения критической температуры» (рис. 2) и «критический прогиб при нагревании» (рис. 3). Это подтверждает соответствие состава 1 заявленному в технической документации времени достижения критической температуры (45 мин).

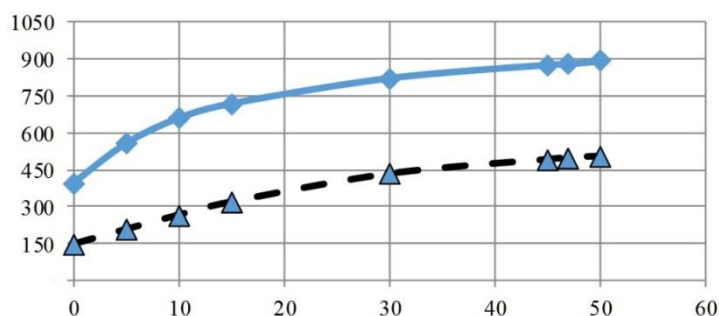


Рис. 2. Время достижения критической температуры образца с покрытием составом 1 (без разбавления). Сплошная линия — температура нагрева, пунктирная — температура поверхности под слоем ПК. По вертикальной оси указана температура (°C), по горизонтальной — время (мин)

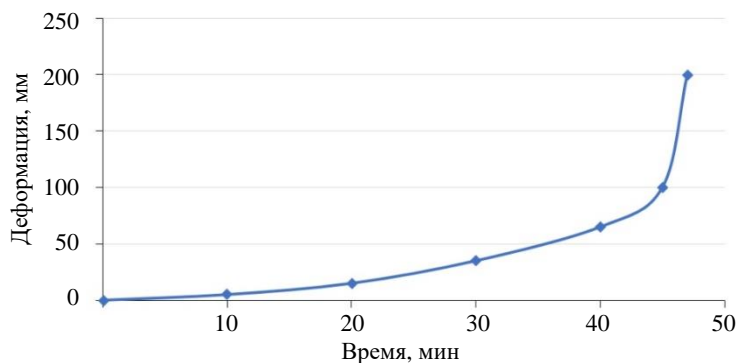


Рис. 3. Зависимость прогиба образца с огнезащитным покрытием состава 1 (без разбавителя) от времени теплового воздействия в огневой камере печи

Результаты экспресс-анализа в части соответствия огнезащитного состава технической документации (коэффициент вспучивания ПК, таблица 1) свидетельствуют о корректности предложенной методики.

При испытании образца с покрытием состава 2 по стандартной методике время достижения предельных состояний составило 34 мин (рис. 4). То есть испытываемый материал не соответствует технической документации, состав нельзя использовать для огнезащиты, если требуемый предел огнестойкости — R45.

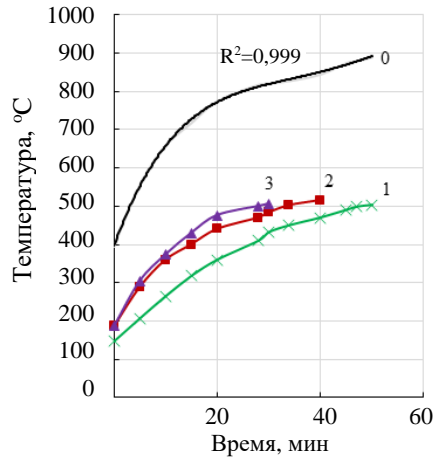


Рис. 4. Динамика изменения температуры в огневой камере (кривая 0) и температуры защищаемой поверхности в процессе испытания образцов 1–3 (кривые 1–3)

Результаты испытаний по методу экспресс-анализа подтверждают непригодность краски, несмотря на то, что коэффициент вспучивания покрытия превышает минимальное значение, указанное в нормативной документации. Полученный ПК внешне неоднороден, заметны крупные газовые полости. Слои ПК вне этих дефектов имеют повышенную прочность и плотность, а также относительно низкую адгезию к защищаемому материалу.

Испытания образца 3 дали следующие результаты. Стальная подложка достигает предельного состояния через 27 мин при испытаниях по стандартной методике (рис. 4). Это свидетельствует о непригодности состава 3 по показателю «время достижения критической температуры» (45 мин). Данный факт подтвердили результаты испытаний экспресс-методом. ПК неоднороден, присутствуют крупные газовые полости. Прочность и плотность слоя ПК вне этих дефектов повышена, адгезия к защищаемому материалу низкая.

Экспресс-анализ позволил установить, что при заданном критическом значении прогиба 200 мм потеря несущей способности у образца 1 наблюдалась через 47 мин, у образца 2 — через 42 мин, у образца 3 — через 35 мин.

Итак, чем больше время нагрева стальной подложки образца до критической температуры, тем выше показатель коэффициента вспучивания защитного слоя ПК и ниже показатель прочности ПК на сжатие (таблица 1, рис. 5).

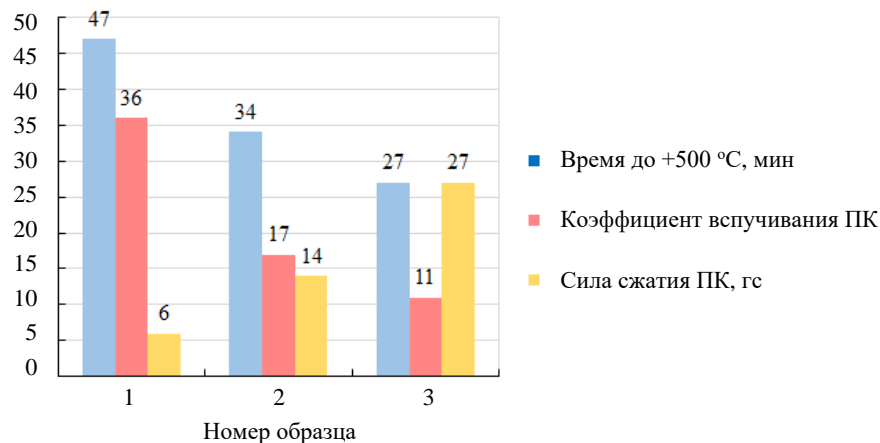


Рис. 5. Результаты испытаний огнестойкости по ГОСТу 30247.0-94 (время достижения критической температуры подложки) и методом экспресс-анализа (коэффициент вспучивания ПК, прочность ПК)

Относительно высокая прочность ПК на сжатие, установленная методом экспресс-анализа для образца 3, предполагает высокую плотность ПК (таблица 1) и увеличение теплопроводности защитного слоя, что сокращает время достижения критической температуры подложки и подтверждается результатами испытаний по ГОСТ 30247.0-94.

Обсуждение и заключения. Предложенный авторами экспресс-анализ огнестойкости интумесцентных покрытий протестировали на двутавровых строительных конструкциях. Результаты сравнили с аналогичной проверкой по ГОСТ 30247.0-94. Сопоставление продемонстрировало корректность авторского подхода.

Итоги испытаний по обем методикам делятся на три группы. К первой относятся результаты, полученные для покрытий качественной неразбавленной огнезащитной краской, по всем параметрам отвечающие требованиям нормативной документации. Ко второй — результаты испытания покрытий, не обеспечивающих заданные огнезащитные параметры. При этом уменьшается коэффициент вспучивания ПК и его адгезия к подложке, увеличивается прочность и плотность. Для третьей группы характерны значительные отклонения от требуемых параметров. На основании полученных результатов можно утверждать, что оценка параметров ПК по методу экспресс-анализа в условиях строительного объекта является достаточной, чтобы сделать вывод о пригодности или непригодности интумесцентного покрытия для огнезащиты.

Библиографический список

1. Lucherini A., Maluk C. Intumescent coatings used for the fire-safe design of steel structures: A review. *Journal of Constructional Steel Research*. 2019;162:105712. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2019.105712>
2. Wail E.D. Fire-Protective and Flame-Retardant Coatings — A State-of-the-Art Review. *Journal of Fire Sciences*. 2011;29(3):259–296. <https://doi.org/10.1177/0734904110395469>
3. Голованов В.И., Крючков Г.И. Оценка огнестойкости стальных конструкций при нормируемых температурных режимах пожаров. *Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация*. 2021;3:52–60. <https://doi.org/10.25257/FE.2021.3.52-60>
4. Dreyer J.A.H., Weinell C.E., Dam-Johansen K. et al. Review of heat exposure equipment and in-situ characterisation techniques for intumescent coatings. *Fire Safety Journal*. 2021;121:103264. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2020.103264>
5. Lucherini A., Maluk C. Assessing the onset of swelling for thin intumescent coatings under a range of heating conditions. *Fire Safety Journal*. 2019;106:1–12. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2019.03.014>
6. Ng Y.H., Dasari A., Tan K.H. et al. Intumescent fire-retardant acrylic coatings: Effects of additive loading ratio and scale of testing. *Progress in Organic Coatings*. 2021;150:105985. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2020.105985>
7. Андришкин А.Ю., Цой А.А., Симонова М.А. Об основных предпосылках метода испытаний огнезащитных покрытий в высокотемпературных газовых потоках. *Проблемы управления рисками в техносфере*. 2016;1(37):39–46.
8. Акулов А.Ю., Аксенов А.В. Огнезащитные покрытия на основе минеральных термостойких наполнителей для металлоконструкций нефтегазового комплекса. *Известия высших учебных заведений. Нефть и газ*. 2011;1:66–70.
9. Рудакова Т.А., Евтушенко Ю.М., Григорьев Ю.А. и др. Пути снижения температуры пенообразования в системе полифосфат аммония-пентаэритрит в интумесцентных системах. *Пожаровзрывобезопасность*. 2015;24(3):24–31.
10. Zeng Y., Weinell C.E., Dam-Johansen K. et al. Exposure of hydrocarbon intumescent coatings to the UL1709 heating curve and furnace rheology: Effects of zinc borate on char properties. *Progress in Organic Coatings*. 2019;135:321–330. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2019.06.020>
11. Lucherini A., Giuliani L., Jomaas G. Experimental study of the performance of intumescent coatings exposed to standard and non-standard fire conditions. *Fire Safety Journal*. 2018;95:42–50. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.10.004>
12. Zhang Y., Wang Y.C., Bailey C.G. et al. Global modelling of fire protection performance of an intumescent coating under different furnace fire conditions. *Journal of Fire Safety*. 2013;31:51–72. <https://doi.org/10.1177/0734904112453566>
13. Morys M., Illerhaus B., Sturm H. et al. Size is not all that matters: Residue thickness and protection performance of intumescent coatings made from different binders. *Journal of Fire Sciences*. 2017;35(4):284–302. <https://doi.org/10.1177/0734904117709479>
14. Omrane A., Wang Y.C., Göransson U. et al. Intumescent coating surface temperature measurement in a cone calorimeter using laser-induced phosphorescence. *Fire Safety Journal*. 2007;42:68–74. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2006.08.006>
15. Гравит М.В. Оценка порового пространства пенококса огнезащитных вспучивающихся покрытий. *Пожаровзрывобезопасность*. 2013;22(5):33–37. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19419639> (дата обращения: 10.04.2023).
16. Morys M., Illerhaus B., Sturm H. et al. Revealing the inner secrets of intumescence: Advanced standard time temperature oven (STT Mufu+)- μ -computed tomography approach. *Fire and Materials*. 2017;41(8):927–939. <https://doi.org/10.1002/fam.2426>

17. Maluk C., Bisby L., Krajcovic M. et al. A Heat-Transfer Rate Inducing System (H-TRIS) Test Method. *Fire Safety Journal*. 2019;105:307–319. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2016.05.001>
18. Мартынов А.В., Греков В.В., Попова О.В. Некоторые причины нарушения качества интумесцентных покрытий. *Безопасность труда в промышленности*. 2020;11:69–75. <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2020-11-69-75>
19. Мартынов А.В., Попова О.В., Греков В.В. Нестандартные методы оценки качества интумесцентных покрытий. *Безопасность труда в промышленности*. 2021;6:15–20. <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2021-6-15-20>
20. Мартынов А.В., Греков В.В., Попова О.В. Комплект средств измерений для экспресс-анализа интумесцентной огнезащиты на строительном объекте. *Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация*. 2021;3:61–68. <https://doi.org/10.25257/FE.2021.3.61-68>

References

1. Lucherini A, Maluk C. Intumescent coatings used for the fire-safe design of steel structures: A review. *Journal of Constructional Steel Research*. 2019;162:105712. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2019.105712>
2. Wail ED. Fire-Protective and Flame-Retardant Coatings — A State-of-the-Art Review. *Journal of Fire Sciences*. 2011;29(3):259–296. <https://doi.org/10.1177/0734904110395469>
3. Golovanov VI, Kryuchkov GI. Steel structures fire resistance assessment under standardized fire temperature regimes. *Pozhary i чрезвычайные ситуации: predotvrashchenie, likvidatsiya* 2021;3:52–60. <https://doi.org/10.25257/FE.2021.3.52-60> (In Russ.).
4. Dreyer JAH, Weinell CE, Dam-Johansen K, et al. Review of heat exposure equipment and in-situ characterisation techniques for intumescent coatings. *Fire Safety Journal*. 2021;121:103264. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2020.103264>
5. Lucherini A, Maluk C. Assessing the onset of swelling for thin intumescent coatings under a range of heating conditions. *Fire Safety Journal*. 2019;106:1–12. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2019.03.014>
6. Ng YH, Dasari A, Tan KH, et al. Intumescent fire-retardant acrylic coatings: Effects of additive loading ratio and scale of testing. *Progress in Organic Coatings*. 2021;150:105985. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2020.105985>
7. Andryushkin AYu, Tsoy AA, Simonova MA. About the basic preconditions of creation of the method of testing fire-resistant coatings in high temperature gas flow. *Problems of risk management in the technosphere*. 2016;1(37):39–46. (In Russ.).
8. Akulov AYu, Aksenov AV. Oгнеzashchitnye pokrytiya na osnove mineral'nykh termostoikikh zapolnitelei dlya metallokonstruktsii neftegazovogo kompleksa. *Oil and Gas Studies*. 2011;1:66–70. (In Russ.).
9. Rudakova TA, Evtushenko YuM, Grigorev YuA, et al. Ways of reducing the temperature of foaming in the system ammonium polyphosphate-pentaerythritol in intumescent systems. *Fire and Explosion Safety*. 2015;24(3):24–31. (In Russ.).
10. Zeng Y, Weinell CE, Dam-Johansen K, et al. Exposure of hydrocarbon intumescent coatings to the UL1709 heating curve and furnace rheology: Effects of zinc borate on char properties. *Progress in Organic Coatings*. 2019;135:321–330. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2019.06.020>
11. Lucherini A, Giuliani L, Jomaas G. Experimental study of the performance of intumescent coatings exposed to standard and non-standard fire conditions. *Fire Safety Journal*. 2018;95:42–50. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.10.004>.
12. Zhang Y, Wang YC, Bailey CG, et al. Global modelling of fire protection performance of an intumescent coating under different furnace fire conditions. *Journal of Fire Safety*. 2013;31:51–72. <https://doi.org/10.1177/0734904112453566>.
13. Morys M, Illerhaus B, Sturm H, et al. Size is not all that matters: Residue thickness and protection performance of intumescent coatings made from different binders. *Journal of Fire Sciences*. 2017;35(4):284–302. <https://doi.org/10.1177/0734904117709479>
14. Omrane A, Wang YC, Göransson U, et al. Intumescent coating surface temperature measurement in a cone calorimeter using laser-induced phosphorescence. *Fire Safety Journal*. 2007;42:68–74. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2006.08.006>
15. Gravit MV. Evaluation of pore space form of intumescent fire retardant coating. *Fire and Explosion Safety*. 2013;22(5):33–37. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19419639> (accessed 10.04.2023). (In Russ.).
16. Morys M, Illerhaus B, Sturm H, et al. Revealing the inner secrets of intumescence: Advanced standard time temperature oven (STT Mufu+)- μ -computed tomography approach. *Fire and Materials*. 2017;41(8):927–939. <https://doi.org/10.1002/fam.2426>

17. Maluk C, Bisby L, Krajcovic M, et al. A Heat-Transfer Rate Inducing System (H-TRIS) Test Method. *Fire Safety Journal*. 2019;105:307–319. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2016.05.001>
18. Martynov AV, Grekov VV, Popova OV. Some Reasons for the Violation of the Intumescent Coatings Quality. *Occupational Safety in Industry*. 2020;11:69–75. <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2020-11-69-75> (In Russ.).
19. Martynov AV, Popova OV, Grekov VV. Non-Standard Methods for Assessing the Quality of Intumescent Coatings. *Occupational Safety in Industry*. 2021;6:15–20. <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2021-6-15-20> (In Russ.).
20. Martynov AV, Grekov VV, Popova OV. Measuring tool kit for express analysis of intumescent fire protection at a construction facility. *Pozhary i chrezvychainye situatsii: predotvrashchenie, likvidatsiya*. 2021;3:61–68. <https://doi.org/10.25257/FE.2021.3.61-68> (In Russ.).

Об авторах

Мартынов Алексей Владимирович, генеральный директор, ООО СКБ «Строительство Качество Безопасность» (344113, РФ, г. Ростов-на-Дону, пр. Космонавтов, 37, оф. 68, 69), [ORCID](#), mail@fireguard.ru

Греков Василий Владимирович, технический консультант, ООО СКБ «Строительство Качество Безопасность» (344113, РФ, г. Ростов-на-Дону, пр. Космонавтов, 37, оф. 68, 69), [ORCID](#), Torobas@mail.ru

Попова Ольга Васильевна, профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор, [ResearcherID](#), [ScopusID](#), [ORCID](#), olvp2808@rambler.ru

Заявленный вклад соавторов:

А.В. Мартынов — формирование основной концепции, цели и задачи исследования, проведение расчетов, подготовка текста, формулирование выводов. В.В. Греков — проведение экспериментов, подготовка текста, формулирование выводов. О.В. Попова — научное руководство, анализ результатов исследований, доработка текста, корректировка выводов.

Поступила в редакцию 03.04.2023.

Поступила после рецензирования 18.04.2023.

Принята к публикации 21.04.2023.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Aleksey V Martynov, general director, Stroitel'stvo Kachestvo Bezopasnost' OOO (68, 69 office, 37, Kosmonavtov Avenue, Rostov-on-Don, 344113, RF), [ORCID](#), mail@fireguard.ru

Vasily V Grekov, technical adviser, Stroitel'stvo Kachestvo Bezopasnost' OOO (68, 69 office, 37, Kosmonavtov Avenue, Rostov-on-Don, 344113, RF), [ORCID](#), Torobas@mail.ru

Olga V Popova, professor of the Life Safety and Environmental Protection Department, Don State Technical University (q, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), Dr. Sci. (Eng.), professor, [ResearcherID](#), [ScopusID](#), [ORCID](#), olvp2808@rambler.ru

Claimed contributorship:

AV Martynov: formulation of the basic concept, goals and objectives of the study, calculations, preparation of the text, formulation of the conclusions. VV Grekov: conducting experiments, preparation of the text, formulation of the conclusions. OV Popova: academic advising, analysis of the research results, revision of the text, correction of the conclusions.

Received 03.04.2023.

Revised 18.04.2023.

Accepted 21.04.2023.

Conflict of interest statement

The authors do not have any conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.