

Итумесцентная конструктивная изгибаемая огнезащита для строительных конструкций и кабельных линий

© М.В. Гравит^{1✉}, В.А. Прусаков², И.Г. Коротин³, Н.С. Тимофеев², Я.Б. Симоненко¹

¹ Инженерно-строительный институт, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29)

² ООО «ПРОМИЗОЛ» (Россия, 140073, Московская обл., г. Люберцы, р.п. Томилино, «Логопарк Томилино», лит. 2Ж)

³ АО «Унихимтек» (Россия, 142181, Московская обл., г. Подольск, мкр. Климовск, ул. Заводская, 2)

АННОТАЦИЯ

Введение. Авторами впервые разработана и внедрена конструктивная изгибаемая итумесцентная огнезащита не только для кабельной продукции, но и для строительных конструкций объектов капитального строительства (в том числе зданий и сооружений нефтегазового комплекса, поскольку возможна эксплуатация конструкций в условиях морского и арктического климата). Средство огнезащиты представляет собой рулонный материал с армированной структурой, вспучивающейся в трех направлениях (3-D) при воздействии термического удара.

Методы. Проведены испытания сохранения работоспособности кабельной линии в условиях пожара (по ГОСТ Р 53316–2009) и огнезащитной эффективности для кабеля (по ГОСТ Р 53311–2009). Выполнено моделирование сейсмического воздействия величиной 9 баллов по шкале MSK-64. Для определения пределов огнестойкости огнезащитную сетку оборачивали вокруг балок и колонн, согласно ГОСТ 30247.1–1994. Осуществлены проверка огнезащитной эффективности сетки (по ГОСТ 53295–2009) и термический анализ покрытия (по ГОСТ Р 53293–2009).

Результаты и обсуждение. В результате стандартных испытаний получены следующие параметры огнезащитной сетки: огнезащитная эффективность — 15, 45 и 60 мин; пределы огнестойкости конструкций (балки) с огнезащитной сеткой — R15, R45 и R60; сейсмостойчивость — не менее 9 баллов по шкале MSK; категория 1 по ГОСТ 15150–69 (климатическое исполнение ХЛ, УХЛ, Т, ОМ, открытые площадки в указанных макроклиматических районах), что позволяет прогнозировать сохранение эксплуатационных свойств огнезащитной сетки в условиях арктического климата в течение не менее 10 лет; возможность проведения сухого монтажа в интервале температур –60 ... +90 °С при 100 % влажности.

Выводы. Разработана, сертифицирована и внедрена в серийное производство номенклатура итумесцентной конструктивной изгибаемой огнезащиты для различных конструкций (в том числе для легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК)) и кабельных линий в виде морозо- и маслбензостойкой полимерной композиции на сетчатой негорючей основе.

Ключевые слова: здания; сооружения; предел огнестойкости; средства огнезащиты; огнезащитная сетка; углеводородный режим пожара

Для цитирования: Гравит М.В., Прусаков В.А., Коротин И.Г., Тимофеев Н.С., Симоненко Я.Б. Итумесцентная конструктивная изгибаемая огнезащита для строительных конструкций и кабельных линий воздействия // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2020. Т. 29. № 3. С. 18–32. DOI: 10.22227/PVB.2020.29.03.18-32

✉ Гравит Марина Викторовна, e-mail: marina.gravit@mail.ru

Intumescent structural curve-following fire protection of civil structures and cable lines

© Marina V. Gravit^{1✉}, Vasily A. Prusakov², Igor G. Korotin³, Nikolay S. Timofeev², Yana B. Simonenko¹

¹ Civil Engineering Institute, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University (Politekhnikeskaya St., 29, Saint Petersburg, 195251, Russian Federation)

² "PROMIZOL" Ltd (Tomilino, 2G, Moscow Region, Lyubertsy, 140073, Russian Federation)

³ "UNICHIMTEK" JSC (Zavodskaya St., 2, Moscow Region, Podolsk, mkr. Klimovsk, 142181, Russian Federation)

ABSTRACT

Introduction. The authors claim to have originally invented and introduced structural curve-following intumescent fire protection not only for cabling, but also for civil structures of investment construction projects (also those of buildings and facilities of the oil&gas complex since the operation of the structures is possible also in the maritime and the Arctic climate areas). The fire-protection is roll material with structural reinforcement capable of 3D-swelling at a thermal shock.

Statement of method. Tests have been conducted of retained operability of a cable line in a fire (as per GOST R 53316–2009) and of the fire-protection efficiency for a cable (as per GOST R 53311–2009). A magnitude 9 seismic impact as

per MSK-64 was modeled. To determine the fire-resistance ratings, the fire-protection net was wrapped around columns and beams, as per GOST 30247.1–1994. A check of the fire-protection efficiency of the net (as per GOST 53295–2009) and a thermal analysis of the coating (as per GOST R 53293–2009) were executed.

Results and discussion. In the course of the standard tests, the following fire-protection net parameters were obtained: fire-protection efficiency — 15, 45 and 60 min; fire-resistance ratings of structures (beam) with the fire-protection net — R15, R45 and R60; seismic resistance at least magnitude 9 as per MSK; category 1 as per GOST 15150–69 (HL, UHL, T, OM climate designs, open grounds in the specified macro-climatic areas), allowing for retained operation properties of the fire-protection net in Arctic climate within at least 10 years; possibility of dry installation within a temperature range –60...90 °C at 100 % humidity.

Conclusions. A range of intumescent structural curve-following fire-protection materials for different civil structures (also for light thin-wall steel structures (LTWSS)) and cable lines in form of a frost- and oil-resistant polymer compound on non-flammable net base has been developed, certified and launched into serial manufacturing.

Keywords: buildings; facilities; fire-resistance rating; fire-protection materials; fire-protection net; hydrocarbon fire.

For citation: Gravit M.V., Prusakov V.A., Korotin I.G., Timofeev N.S., Simonenko Ya.B. Intumescent structural curve-following fire protection of civil structures and cable lines. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2020; 29(3):18-32. DOI: 10.22227/PVB.2020.29.03.18-32

✉ Marina Viktorovna Gravit, e-mail: marina.gravit@mail.ru

Введение

В проекте обновления СП 2.13130 «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты», окончательная редакция которого обсуждается экспертным сообществом, планируется изменить термины для средств огнезащиты. Так, в п. 3.2 *конструктивная огнезащита* будет определяться как «огнезащита строительных конструкций, основанная на создании на обогреваемой поверхности конструкции теплоизоляционного слоя, путем нанесения на нее толстослойных напыляемых составов, штукатурки, облицовки плитными, листовыми, штучными и другими аналогичными строительными материалами, в том числе на каркасе, с воздушными прослойками, в результате бетонирования и заливки затвердевающими растворами с использованием технологии опалубки, а также их комбинации».

В новой редакции СП 2.13330 определение *вспучивающегося покрытия* представлено как «слой (слои) огнезащитного состава, нанесенного на поверхность объекта огнезащиты, огнезащитное действие которого основано на многократном увеличении исходной толщины при тепловом воздействии и образовании теплоизоляционного слоя на защищаемой поверхности», в результате данное определение существенно сократилось и упростилось по сравнению с действующим нормативным документом. В отличие от термина в настоящей редакции, огнезащитное покрытие более не является «способом» (что само по себе неверное утверждение), конструктивные материалы и изделия приобрели обоснованное определение

В целом средства огнезащиты можно разделить по технологическому принципу применения (мокрым или сухим способом) и по принципу действия с изменением геометрических параметров при пожаре: в случае с конструктивной защитой они неизменны, в случае с интумесцентными составами тол-

щина сухого слоя покрытия существенно возрастает за счет образования пенококса [1].

При многих достоинствах интумесцентной огнезащиты (высокая производительность работ, возможность нанесения на труднодоступные участки и т.д.) [2–11] показатели параметров огнестойкости и огнезащитной эффективности при испытаниях часто нестабильны за счет образования трещин, вздутий, сдувания пенококса и оголения до металла (рис. 1).

Относительно недавно появились материалы, сочетающие в себе свойства конструктивной изгибаемой (рулонной) огнезащиты (в первую очередь, сухой монтаж и монтаж сразу готового изделия на поверхность защищаемого объекта) и интумесцентной защиты, когда при огневом воздействии образуется пенококс с низкой теплопроводностью, защищающий поверхность объекта защиты [1].

Известны материалы, например сеточная (тканевая) огнезащита Naruflam BS-Gewebe X-Color (Германия), предназначенная для предотвращения самовоспламенения электрических кабелей и кабельных систем из-за короткого замыкания или перегрева. В России Naruflam BS-Gewebe X-Color не сертифицирован. Технические характеристики этого типа огнезащиты: плотность сетки — 1,55...1,85 кг/м²; класс — B-s2, d0 (согласно BS EN 13501-1:2018); предел огнестойкости — EI 90/E 90 (согласно BS EN 13501-2:2016).

Компания «МорНефтеГазСтрой» (Россия) производит сетку «Инфлекс-ФК31», сертифицированную согласно ГОСТ 53311–2009 «Покрывания кабельные огнезащитные. Методы определения огнезащитной эффективности» (сертификат соответствия № C-RU.ПБ25.В.03554 от 24 февраля 2016 г.). Согласно тексту сертификата, сетка огнезащитная марки «Инфлекс-ФК-31» для кабелей (толщина — не менее 1,5 мм, размер ячейки материала-основы из стеклоткани — 4,0×4,0 мм) обеспечивает огнеза-

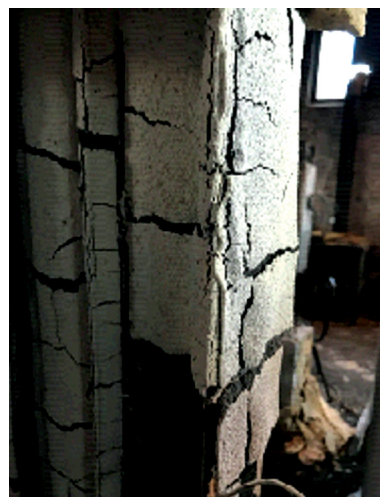


Рис. 1. Испытания интумесцентной краски известной марки, огнезащитная эффективность — 35 мин

Fig. 1. Test of intumescent paint of a popular brand, fire-protection efficiency — 35 min

щитную эффективность для кабелей с оболочками из ПВХ пластиката, полиэтилена и резины при монтаже в один слой.

В патенте CA2938283 (A1)–2018-02-05 интумесцентная сетка описана следующим образом: «Гибкая сетка с множеством прядей, которые образуют ряд отверстий; вспучивающееся покрытие, нанесенное на гибкую сетку, причем вспучивающееся покрытие в качестве ингредиентов содержит вспениваемый графит и носитель на основе полимера; причем сетка имеет такой размер, чтобы вспучивающееся покрытие позволяло воздушному потоку проходить через гибкую сетку до тех пор, пока вспучивающееся покрытие не будет подвергаться воздействию температур, равных или превышающих температуру активации, после чего вспучивающееся покрытие набухает, герметизируя отверстия и предотвращая прохождение воздуха через гибкую сетку из проволоочной ткани»¹.

Патентом RU22422 «Огнезащищенные металлические сетки для ограничения распространения пожаров» защищено решение, представляющее собой «огнезащитный экран, состоящий из одной или пакета металлических сеток, окрашенных вспенивающимися от теплового воздействия покрытиями, при этом размер сеточных ячеек, диаметр проволоки, толщина покрытия и кратность вспенивания краски должны обеспечивать полное перекрытие ячеек сетки при тепловом воздействии»².

¹ Patent № CA 2938283 A1. Intumescent grid / W. Wall, A. Wall, S. Adab; Canadian Borax Inc. Appl. No. CA2938283A, 05.08.2016. Publ. 05.02.2018.

² Пат. РФ № RU 22422 U1. Огнезащищенные металлические сетки для ограничения распространения пожаров / патентообл. В.Р. Малинин, А.С. Крутолапов; заявл. № 2001125542/20, 14.09.2001; опубл. 10.04.2002.

Для упрочнения материала и его защиты от растрескивания или осыпания с подложки под воздействием пламени или экстремальных термических условий в покрывной материал встраивали такие армирующие материалы, как ткань из стекловолокна, графитовая ткань или проволоочная сетка. Примеры аналогичного подхода обнаружены также в патентах США^{3, 4, 5, 6}.

Таким образом, наиболее эффективным средством огнезащиты, сочетающим лучшие качества конструктивной и интумесцентной огнезащиты в условиях теплового воздействия в экстремальных условиях (низкие температуры, влажность), является использование вспучивающихся огнезащитных материалов на гибкой основе [12–22]. В классификации средств огнезащиты необходимо выделить новый вид огнезащиты — конструктивную изгибаемую интумесцентную огнезащиту, которая наносится сухим способом и при этом вспучивается при огневом воздействии, т.е. сочетает характерные признаки как конструктивного материала, так и вспучивающихся покрытий. Образование пенококса происходит во всех трех измерениях (вверх, вниз и вдоль поверхности) — «3-dimension» [1]

³ Patent № US 3,022,190 A. Process of and composition for controlling temperatures / R. Feldman; Emerson Electric Co. Appl. No. US15007A, 15.02.1960. Publ. 20.02.1962.

⁴ Patent № US 3,913,290 A. Fire insulation edge reinforcements for structural members / R.W. Billing, G.K. Castle; Avco Corp. Appl. No. 478,844, 13.06.1974. Publ. 21.10.1975.

⁵ Patent № US 3,915,777 A. Method of applying fire-retardant coating materials to a substrate having corners or other sharp edges / B.B. Kaplan; Albi Manuf Co Inc. Appl. No. 368,140, 08.06.1973. Publ. 28.10.1975.

⁶ Patent № US 4,069,075 A. Structural support for char derived from intumescent coatings / R.W. Billing, G.K. Castle; Avco Corp. Appl. No. 544,168, 27.01.1975. Publ. 17.01.1978.

(рис. 2). Пенококс образуется в виде равномерного вспучивающегося пористого покрытия, обволакивающего поверхность конструкции, отсутствуют растрескивания, отвалившиеся части и т.д.

Целью исследования являлась разработка средства огнезащиты, представляющего собой гибкую мелкоячеистую сетку из негорючего материала с интумесцентной полимерной композицией. Огнезащитная сетка должна совмещать свойства конструктивной огнезащиты и вспучивающегося огнезащитного покрытия, обладать высокой огнезащитной эффективностью и надежными эксплуатационными характеристиками для повышения пределов огнестойкости строительных конструкций различного типа.

Поставленная цель решена авторами путем разработки огнезащитного конструктивного (в виде листового материала, который возможно поставлять в рулонах) интумесцентного изгибаемого покрытия, состоящего из эластичной полимерной композиции на основе морозоустойчивых и маслобензостойких синтетических каучуков, интеркалированного графита и других нерастворимых в воде компонентов, нанесенных на армирующую сетку из композиции минераловатных или углепластиковых волокон (патент RU2711076C1 «Огнезащитное интумесцентное рулонное покрытие»)⁷ [23]. Возможно производство данного материала в различных цветовых сочетаниях за счет добавления пигментов, с вариативностью по размерам ячеек и плотности (с поверхностной плотностью 0,5...2,5 кг/м²) в зависимости от состава наносимой композиции и типа армирующей сетки. Огнезащитная сетка оборачивается вокруг изделия (конструкции) в один и более слоев. Максимальная температура эксплуатации при положительных температурах определена как «не более 90 °С», поскольку процесс образования пенококса начинается в интервале 180...220 °С. Минимальная температура эксплуатации определяется, исходя из морозостойкости компонентов и композиции и достигает значений до –60 °С, что подтверждается результатами испытаний по 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» (категория 1 для климатического исполнения ХЛ, УХЛ, Т, ОМ, открытые площадки в указанных макроклиматических районах). Сейсмоустойчивость — не менее 9 баллов по шкале MSK.

⁷ Пат. РФ № RU 2711076 C1. Огнезащитное интумесцентное рулонное покрытие / патентообл. В.А. Прусаков, М.В. Гравит; заявл. № 2019107024, 13.03.2019; опублик. 15.01.2020.

Для достижения данной цели необходимо было решить ряд задач, а именно: проанализировать зависимость показателей, получаемых при различных испытаниях, от количества заполненных полимерной композицией ячеек, поверхностной плотности сетки и количества слоев, оборачиваемых вокруг изделия или конструкции; спрогнозировать поведение строительной конструкции с огнезащитой при различных исходных характеристиках изгибаемой огнезащиты.



Рис 2. Пенококс на сетке стального двутавра

Fig. 2. Coke foam on the net of a steel I-beam

Методы

Разработано более 10 видов рецептов огнезащитной композиции для различных видов изделий и назначения (рис. 3). Для оптимального подбора типа огнезащитной сетки (максимальный коксовый остаток, минимальная потеря массы, заданная плотность образующегося пенококса и т.д.) использовался метод термического анализа (ТА) согласно ГОСТ Р 53293–2009 «Пожарная опасность веществ и материалов. Материалы, вещества и средства огнезащиты. Идентификация методами термического анализа» и показатель «потеря массы» как наиболее весомый. Также, согласно п. 5.3.3 ГОСТ Р 53295–2009 «Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности», перед применением средства огнезащиты должна быть проведена его идентификация. Экспериментальная идентификация средства огнезащиты проводилась с помощью аппаратуры термического анализа в соответствии с ГОСТ Р 53293–2009.

Термический анализ

Для проведения ТА использовался модульный термический анализатор марки SETSYS evolution TG-DSC/DTA 1750 производства компании SETARAM (Франция).

Образцы подвергались равномерному нагреву в воздушной атмосфере до температуры 1100 °C со скоростью 15 °C/мин, охлаждение реализовано со скоростью 30 °C/мин.

Рекомендуемое количество параллельных испытаний — согласно ГОСТ Р 53293–2009. Исследовались образцы под № 5–8, поскольку они характеризовались явно выраженной многоступенчатой потерей массы, что характерно для многокомпонентных систем, обладали наименьшей потерей массы при высокой кратности вспучивания (не менее чем в 30 раз по сравнению с первоначальной толщиной покрытия огнезащитной сетки (рис. 3)).

На рис. 3 приведены внешний вид образца огнезащитной сетки (образец № 5 на рис. 4) и испытания на кратность вспучивания. Кратность вспучивания измеряли как отношение первоначальной толщины образца к толщине покрытия с пенококсом [23].

На рис. 5 приведены примеры дериватограмм термогравиметрической зависимости (ТГ), температурной зависимости (Т) и результатов дифференциально-термического анализа (ДТА) от времени для

образцов № 5, 6. Зеленая линия — ТГ, красная — Т, синяя — ДТА.

Сохранение работоспособности кабельных линий и методы определения огнезащитной эффективности для кабельных покрытий.

Исследовалась кабельная линия, защищенная огнезащитной сеткой «ПРОМИЗОЛ-СТК-30» на базе композиции «Кабель» (образец № 5) в четырех вариантах:

- 1) кабельная линия, защищенная (обернутая) сеткой в один слой;
- 2) кабельная линия, защищенная сеткой в два слоя;
- 3) кабельная линия, защищенная сеткой в три слоя;
- 4) кабельная линия, защищенная сеткой в пять слоев.

Проведены исследования кабеля, защищенного сеткой по ГОСТ Р 53311–2009 «Покрывания кабельные огнезащитные. Методы определения огнезащитной эффективности». На отрезок кабеля марки АВВГ 4×10-1 длиной 3100 ± 100 мм с одной стороны наносили огнезащитную сетку на длину 1500 ± 100 мм. Нанесение огнезащитного кабельного покрытия на кабель и его сушку осуществляли в соответствии с технической документацией на покрытие.

При проведении сравнительных испытаний кабельных коробов, предназначенных для сохранения

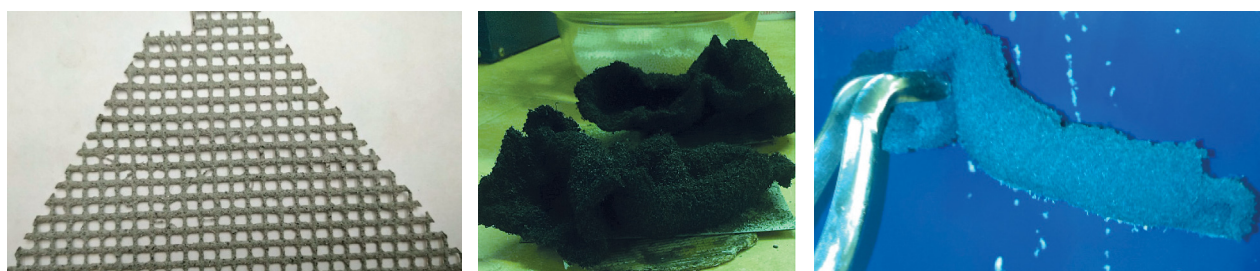


Рис. 3. Внешний вид образца сетки (№ 5) и испытания на кратность вспучивания

Fig.3. Appearance of net sample (No. 5) and test for swelling multiplicity

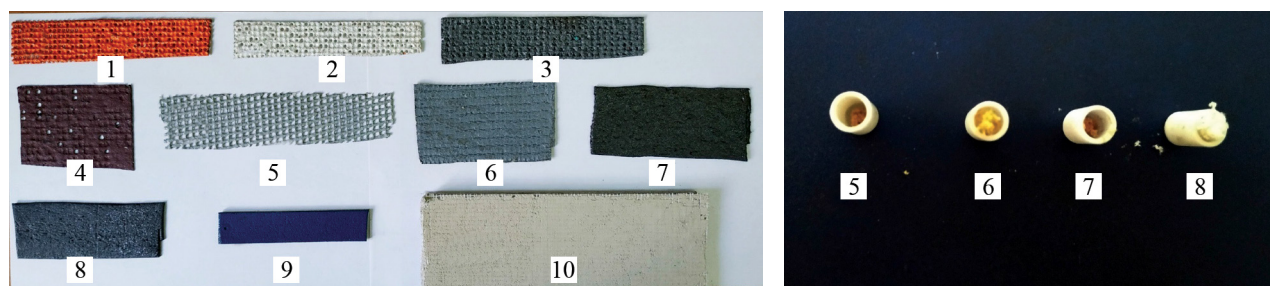


Рис. 4. Образцы огнезащитной сетки № 1–10 с вариациями количества и цвета пигментов, плотности, размеров ячеек (слева) и образцы тиглей с коксовым остатком образцов № 5–8 (справа)

Fig. 4. Fire-protection net samples Nos. 1–10 with variety of quantity and color of pigments, density, mesh size (left) and sampling firepots with coke residue of samples Nos. 5–8 (right)

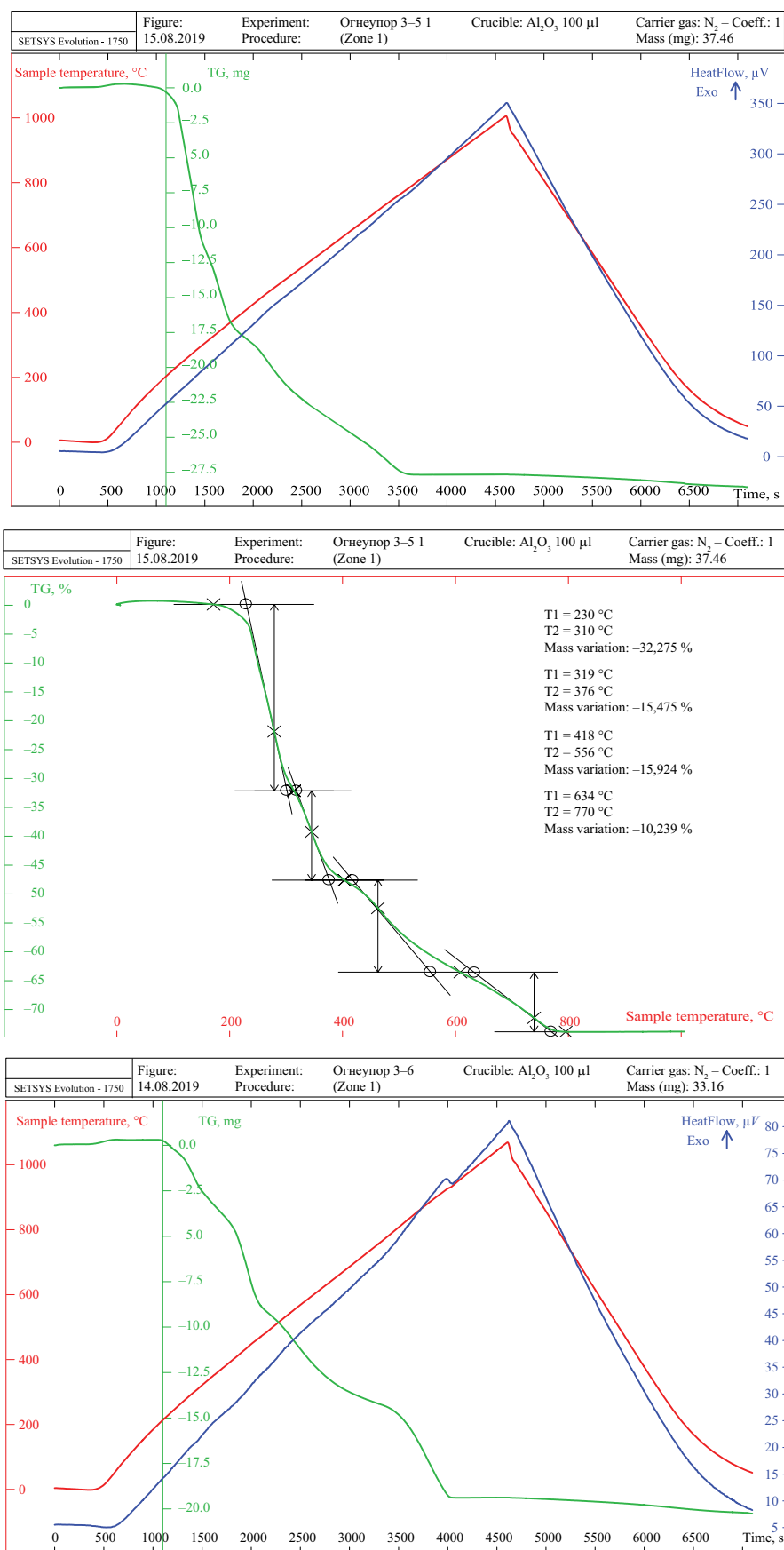


Рис. 5. Дериватограммы образцов № 5, 6

Fig. 5. Thermograms Nos. 5, 6

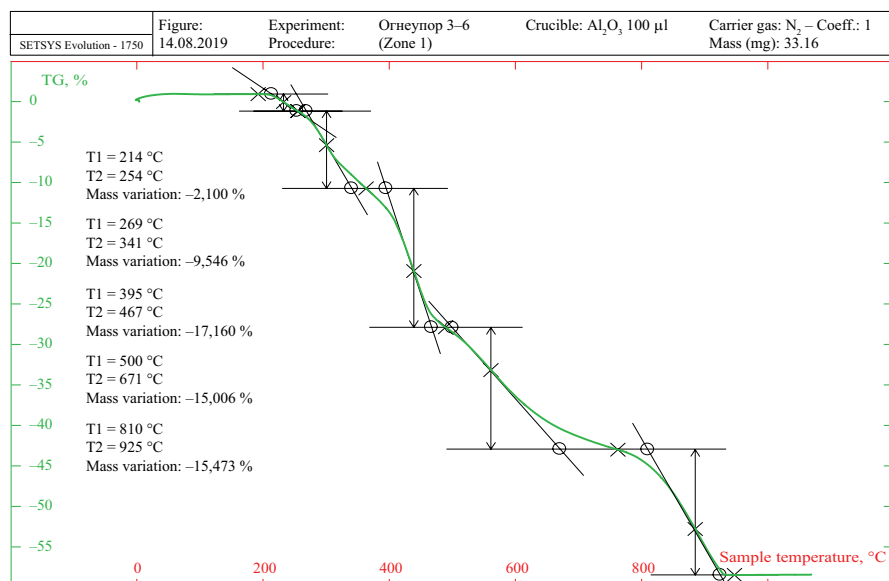


Рис. 5 (окончание). Дериватограммы образцов № 5, 6

Fig. 5 (end). Thermograms Nos. 5, 6

работоспособности кабельной линии в условиях пожара, в каждом варианте короба с огнезащитой прокладывали кабели согласно ГОСТ Р 53316–2009 «Кабельные линии. Сохранение работоспособности в условиях пожара. Метод испытания». При обертывании сеткой кабеля, кабельной линии или лотка необходимо придерживаться формы укладки согласно схеме, изображенной на рис. 6.

Время воздействия стандартного температурного режима должно быть установлено в технической документации. Образец считают сохраняющим работоспособность в течение установленного времени при испытании, если:

- напряжение приложено в течение всего испытания, т.е. прерыватель цепи не отключается;
- токопроводящая жила не разрушается, т.е. лампа не гаснет;
- значение приращения затухания (для оптических кабельных линий) не превышает максимально допустимого значения.

Огнезащитное кабельное покрытие соответствует требованию по нераспространению горения, если в результате испытаний длина поврежденной пламенем или обугленной части кабельной прокладки с огнезащитным покрытием не превышает 1,5 м согласно ГОСТ Р 53311–2009 «Покрывтия кабельные

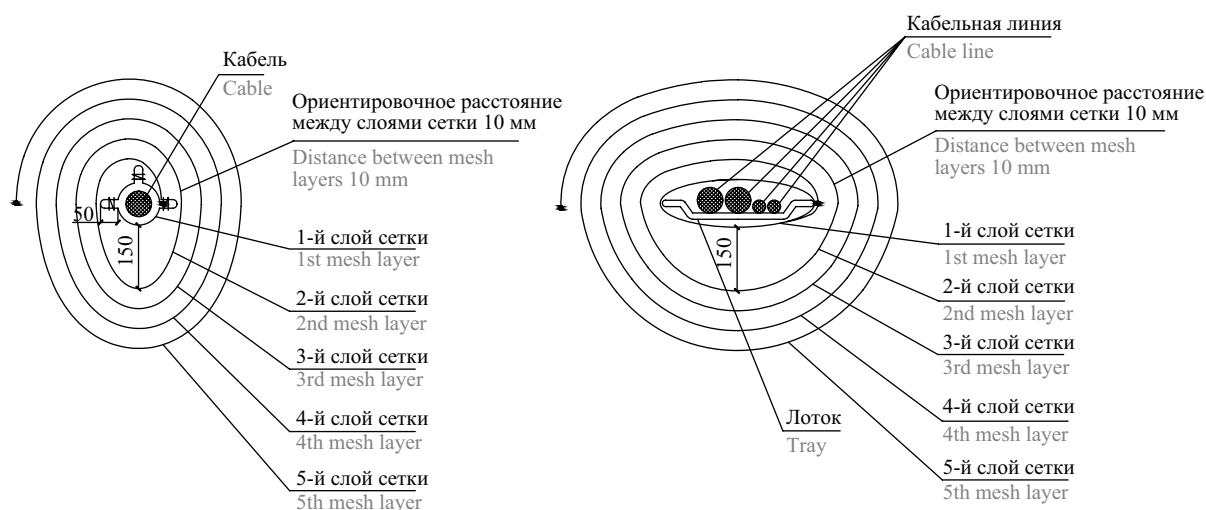


Рис. 6. Схема обертывания сеткой кабеля, кабельной линии, лотка

Fig. 6. Wrapping diagram of cable, cable line, cable tray

огнезащитные. Методы определения огнезащитной эффективности».

Огнестойкость. Для конструкций несущих балок предельным состоянием при испытании на огнестойкость согласно п. 8.2 ГОСТ 30247.1–94 «Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции» является потеря несущей способности R вследствие обрушения конструкции или возникновения предельных деформаций. Для изгибаемых конструкций следует считать, что предельное состояние наступило, если прогиб достиг величины $L/20$ или скорость нарастания деформаций достигла значения $L^2/(9000h)$ см/мин, где L — длина пролета, см; h — расчетная высота сечения конструкции, см.

Испытывались две балки с различными характеристиками с огнезащитной сеткой ПРОМИЗОЛ-МЕТ-30 с поверхностной плотностью 1 и 2 кг/м².

Огнезащитная эффективность. Для определения огнезащитной эффективности испытания проводились по методу, изложенному в ГОСТ 53295–2009, без статической нагрузки, при четырехстороннем тепловом воздействии до наступления

предельного состояния опытного образца. За предельное состояние принималось достижение металлом опытного образца критической температуры, равной 500 °С (среднее значение по показаниям трех термопар). В качестве образцов, на которые монтировалось средство огнезащиты, использовались стальные колонны двутаврового сечения профиля № 20 по ГОСТ 8239–89 «Двутавры стальные горячекатаные. Сортамент» или профиля № 20Б1 по ГОСТ 26020–83 «Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок. Сортамент». Приведенная толщина металла: отношение площади поперечного сечения конструкции к периметру ее обогреваемой поверхности.

Результаты и обсуждение

Для различных объектов защиты (кабель, стальные конструкции) разработаны несколько рецептов и технологических приемов, позволяющих получать различные результаты согласно стандартным методам испытаний.

Термический анализ. В табл. 1 представлены температуры разложения по ступеням и потеря массы по каждому отрезку в соответствии

Таблица 1. Сводные результаты термического анализа образцов № 5–8

Table 1. Summary of results of the thermal analysis of samples Nos. 5–8

Номер образца Sample number	Номер ступени потери массы Mass loss stage number	Температура начала потери массы, °С Mass loss onset temperature, °C	Температура окончания потери массы конца, °С Mass loss finish temperature, °C	Потеря массы, % Mass loss, %	Общая потеря массы, % Total mass loss, %
5	1	235	315	32,3	73,9
	2	324	381	15,5	
	3	423	561	15,9	
	4	639	775	10,2	
6	1	219	259	2,1	59,3
	2	274	346	9,5	
	3	400	472	17,2	
	4	505	676	15	
	5	815	930	15,5	
7	1	229	347	27,9	87,8
	2	409	469	6,3	
	3	472	597	14,8	
	4	682	890	38,8	
8	1	242	355	22,5	71,8
	2	410	476	6,2	
	3	498	652	12,9	
	4	779	963	30,5	

с рис. 5. Например, у образца № 5 при температуре 315 °С наблюдалась максимальная потеря массы и далее поэтапно происходила равномерная потеря массы (до 73,9 %). Образец № 5 использовали для испытаний на кабельных изделиях, поскольку его поверхность не такая плотная (0,5 кг/м²) и потеря массы составляет 73,9 %. У образца № 6 обнаружена наименьшая потеря массы (59,3 %), у образца

№ 8 — 71,8 %. Сетки с такими композициями (преимущественно на основе композиции № 6) в дальнейшем применяли для защиты строительных конструкций при огневых испытаниях.

В табл. 2 представлены технические характеристики огнезащитного покрытия и результаты испытаний различных видов конструкций (несущие стальные конструкции) и кабельных изделий.

Таблица 2. Технические характеристики огнезащитного покрытия и результаты испытаний конструкций и кабельных изделий
Table 2. Specifications of the fire-protection coating and test results of structures and cabling items

Номер образца, наименование и тип огнезащитной сетки Sample number, description and fire-protection net type	Технические характеристики образцов для испытаний Specifications of test samples	Метод испытания и результаты Test method and results
Образец № 5 «Кабель» «ПРОМИЗОЛ-СТК-30». Цвет — светло-серый; плотность — не более 0,5...1,5; количество незаполненных ячеек — 30...50 % Sample No. 5 "Cable" "PROMIZOL-STK-30". Color – light grey; density — max. 0.5...1.5; quantity of vacant meshes — 30...50 %	1. Кабельный лоток, кабели: АВВГ 2×2,5 - 0,66 (ГОСТ 16442–80). АВВ 4×10-1 (ГОСТ 16442–80). АКВВГ 14×2,5 (ГОСТ 1508–78) 2. Кабели с поливинилхлоридной, полиэтиленовой и резиновой оболочками марок ААШв 3×120-10, ТППЭп 50×2×0,4 и КГ 3×50 + 1×16-0,66 1. Cable tray, cables: AVVG 2×2.5 - 0.66 (GOST 16442–80). AVV 4×10-1 (GOST 16442–80). AKVVG 14×2.5 (GOST 1508–78) 2. Cables with PVC, PE and rubber sheaths of types AAShv 3×120-10, TPPep 50×2×0.4 and KG 3×50 + 1×16-0.66	1. Сохраняет работоспособность согласно ГОСТ Р 53316–2009. Предел по сохранению работоспособности в условиях пожара образцов кабельной линии, защищенной огнезащитной сеткой: – не менее 32 мин (1 слой); – не менее 61 мин (2 слоя); – не менее 94 мин (3 слоя); – не менее 151 мин (5 слоев). 2. Нераспространение горения (ГОСТ Р 53311–2009) 1. Retained functionality in accordance with GOST R 53316–2009. The functionality retaining limit in a fire of the cable line samples with fire-protection net protection: – min. 32 min (1 layer); – min. 61 min (2 layers); – min. 94 min (3 layers); – min. 151 min (5 layers). 2. Fire-retardant properties (GOST R 53311–2009)
Образец № 6 «Металл». Цвет — серый, плотность — 1,2 кг/м ² ; количество незаполненных ячеек — не более 30 % Sample No. 6 "Metal". Color — grey, density — 1.2 kg/m ² ; vacant mesh number — max 30 %	Стальная колонна, приведенная толщина металла — 2,0 мм; Стальная колонна, приведенная толщина металла — 2,4 мм Steel column, steel thickness (reduced) — 2.0 mm; Steel column, steel thickness (reduced) — 2.4 mm	3. Огнезащитная эффективность (время достижения предельного состояния 500 °С) согласно ГОСТ 53295–2009: – 15 мин (1 слой); – 45 мин (2 слоя) 3. Fire-protection efficiency (time to the limit condition of 500 °C) as per GOST 53295–2009: – 15 min (1 layer); – 45 min (2 layers)
Образец № 6 «Металл» ПРОМИЗОЛ-СТК-Мет. 2.0. Цвет — серый; плотность — 2 кг/м ² ; количество незаполненных ячеек — не более 20 % Sample No. 6 "Metal" PROMIZOL-STK-Met. 2.0. Color — grey; density — 2 kg/m ² ; vacant mesh number — max 20 %	Стальная колонна, приведенная толщина металла — 3,4 мм Steel column, steel thickness (reduced) — 3.4 mm	4. Огнезащитная эффективность (время достижения предельного состояния при температуре 500 °С по ГОСТ 53295–2009) — 45 мин (2 слоя) 4. Fire-protection efficiency (time to the limit condition of 500 °C as per GOST 53295–2009) — 45 min (2 layers)

Номер образца, наименование и тип огнезащитной сетки Sample number, description and fire-protection net type	Технические характеристики образцов для испытаний Specifications of test samples	Метод испытания и результаты Test method and results
Образец № 8 «Металл» ПРОМИЗОЛ-СТК-Мет 1,0. Цвет — темно-серый; плотность — 1,1 кг/м ² . Количество незаполненных ячеек — не более 20 % Sample No. 8 “Metal” PROMIZOL-STK-Met 1.0. Color — dark grey; density — 1.1 kg/m ² . Vacant mesh number — max 20 %	Стальная балка, двутавр № 20Б1 АСЧМ 20-93, приведенная толщина металла — 3,4 мм. Статическая нагрузка — 68,67 кН (7000 кгс) Steel beam, I-beam No. 20B1 ASChM 20-93, steel thickness (reduced) — 3.4 mm. Static load — 68.67 kN (7,000 kgf)	5. Огнестойкость R15 в результате достижения скорости нарастания деформации более 0,5 см/мин, предельного прогиба более 150 мм и последующего разрушения образцов (ГОСТ 30247.1–94) 5. Fire-resistance rating R15 based on the achieved deformation growth rate above 0.5 cm/min, above 150 mm limit sag value and subsequent sample destruction (GOST 30247.1–94)
Образец № 8 «Металл» ПРОМИЗОЛ-СТК-Мет 2,0. Цвет — темно-серый; плотность — 2 кг/м ² , количество незаполненных ячеек — не более 20 % Sample No. 8 “Metal” PROMIZOL-STK-Met 2.0. Color — dark grey; density — 2 kg/m ² , vacant mesh number — max 20 %	Стальная балка, двутавр № 30Б АСЧМ 20-93, приведенная толщина металла — 4,3 мм. Статическая нагрузка — 81,63 кН (8321 кгс) Steel beam, I-beam No. 30B ASChM 20-93, steel thickness (reduced) — 4.3 mm. Static load — 81.63 kN (8,321 kgf)	6. Огнестойкость R60 в результате возникновения предельных деформаций: предельный прогиб в середине пролета — 200 мм, скорость нарастания деформации — более 0,33 см/мин (ГОСТ 30247.194) 6. Fire-resistance rating R60 based on the limit deformation values: limit sag value in the middle of the flight — 200 mm, deformation growth rate — above 0.33 cm/min (GOST 30247.1–94)

Как следует из полученных данных (см. табл. 2), образец № 5 с поверхностной плотностью 0,5 % и наполненностью ячеек до 50 % наиболее подходит для защиты кабельных изделий: сетка должна быть достаточно открытой, чтобы кабель надежно не перегревался при эксплуатации. Образцы № 6–8 с различной поверхностной плотностью и количеством слоев огнезащиты (один или два слоя сетки) испытывались на строительных конструкциях (двутавровых балках и колоннах).

Проведены испытания огнезащитной эффективности колонн с огнезащитной сеткой, у которых приведенная толщина металла, характерная для легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК), составляет 2 и 2,4 мм, что позволяет рекомендовать изгибаемое огнезащитное покрытие для этого сегмента конструкций. Исследования в данном направлении сейчас продолжаются во Всероссийском ордена «Знак Почета» научно-исследовательском институте противопожарной обороны МЧС России (ФГБУ ВНИИПО МЧС России) непосредственно с использованием профилей ЛСТК различного вида.

Проведены испытания на огнестойкость балок с огнезащитной сеткой и приведенной толщиной 3,4 и 4,3 мм, нагруженных соответственно 68,67 и 81,63 кН. Результаты достигнуты за счет увеличения поверхностной плотности сетки и более на-

полненной композиции в ячейках (снижение количества незаполненных ячеек).

Подготовка к испытаниям и огневое воздействие на двутавровую балку № 30Б1 АСЧМ 20-93 с огнезащитной изгибаемой сеткой приведены на рис. 7.

Кривые изменения температур в огневой камере печи и роста прогибов опытных образцов стальной двутавровой балки № 30Б1 АСЧМ 20-93 с огнезащитной сеткой ПРОМИЗОЛ-СТК-Мет-2,0 представлены на рис. 8.

За время проведения испытаний опытных образцов стальной двутавровой балки с огнезащитной сеткой зафиксированы следующие характерные особенности их поведения. На 5...8-й минутах начинается термическое расширение огнезащитного покрытия, нанесенного на сетку, на 45...50-й минутах наблюдается побеление вспученного слоя покрытия. На 64-й минуте испытания образца № 1 и на 66-й минуте испытания образца № 2 опытные образцы перешли в предельное состояние (достижение скорости нарастания деформации — более 0,33 см/мин, предельный прогиб — более 200 мм), характеризующееся быстрым нарастанием прогиба и последующим обрушением опытных образцов (рис. 9).

В результате исследований получены сертифицированные решения для огнезащиты различных



Рис. 7. Подготовка к испытаниям балки с огнезащитной изгибаемой сеткой и вид в смотровое окно на 5-й минуте испытания опытного образца № 1

Fig. 7. Test preparation of a wrapped beam and sight-glass view in the 5th minute of No. 1 sample testing

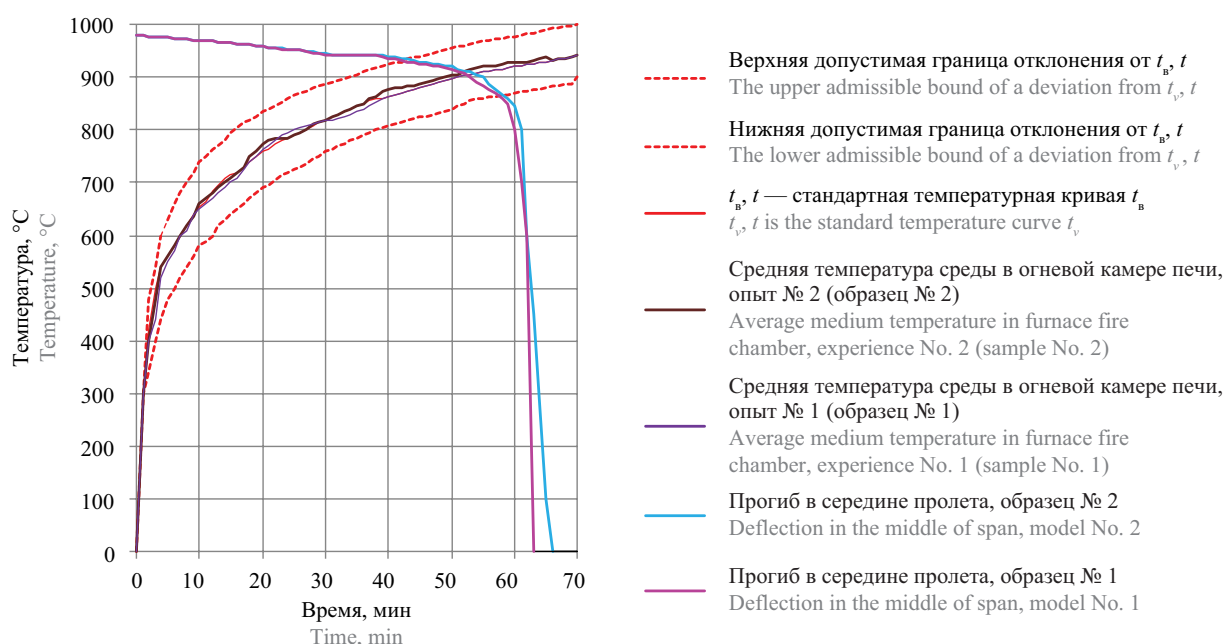


Рис. 8. Графики изменения температуры в огневой камере печи и роста прогибов опытных образцов с огнезащитной сеткой ПРОМИЗОЛ-СТК-Мет-2,0

Fig. 8. Furnace fire-chamber temperature vs. sag growth diagram of test samples with PROMIZOL-STK-Met-2.0 fire-protection net



Рис. 9. Достижение опытными образцами № 1 (слева) и № 2 (справа) предельного состояния по несущей способности конструкции (R)

Fig. 9. Sample No. 1 (left) and No. 2 (right) which reached the limit condition in terms of the carrier capacity of the structure (R)

изделий и строительных конструкций. На рис. 10 приведены некоторые виды применения огнезащитной сетки для стальных конструкций, в том числе при эксплуатации в морском климате.

На конструкциях объектов проводилась огнезащитная обработка связевых сочленений, связей (серый цвет сетки) и защита ферм покрытия (черный и белый цвет).

На рис. 11 представлены различные решения для кабельных изделий с использованием изгибаемой огнезащиты: защита кабельной прокладки на полках; монтаж на вертикальный неплотный поток кабелей; монтаж на кабельный короб с внешними выводами из него кабелей и на имитацию вертикального вентиляционного короба.

Заключение

Разработан и внедрен в серийное производство новый вид огнезащиты для строительных конструкций, сочетающий признаки конструктивной и интумесцентной огнезащиты, — конструктивная изгибаемая (рулонная) интумесцентная огнезащита. Материал предназначен для снижения пожарной опасности кабельных изделий и повышения пределов огнестойкости строительных конструкций.

По сравнению с традиционными средствами огнезащиты изгибаемая интумесцентная огнезащита, представляющая собой морозостойкую полимерную композицию на негорючей сетчатой основе, обладает следующими преимуществами и перспективами применения:

- совместимость со всеми ранее нанесенными огнезащитными или антикоррозионными покрытиями на стальные конструкции, поскольку сетка бесконтактно оборачивается вокруг поверхности конструкции;
- монтаж, эксплуатация и ремонт при температурах от -60 до 90 °C (в таких условиях большинство огнезащитных покрытий уже теряют эксплуатационные свойства), влажности 100 %, наличии осадков и порывов ветра, допускающих работу согласно требованиям техники безопасности труда;
- простота периодического или контрольного осмотра стальных конструкций, с последующим восстановлением огнезащитного покрытия;
- возможность проектирования огнезащиты легких стальных тонкостенных конструкций за счет малого веса и занимаемого объема;
- широкий диапазон исполнения в ненасыщенных цветах для решения различных архитектурно-эстетических задач.



Рис. 10. Защищенные рулонной сеткой стальные конструкции, в том числе и для наружной эксплуатации в морском климате
Fig. 10. Steel structures protected with roll net, also for outdoor operation in maritime climate



Рис. 11. Монтаж огнезащитной сетки на кабельный поток и кабельный короб

Fig. 11. Installation of the fire-protection net on a cable tray and a cable conduit

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гравит М.В., Прусаков В.А., Симоненко Я.Б. Изгибаемая конструктивная интумесцентная (3D) огнезащита для строительных конструкций // Актуальные проблемы пожарной безопасности : мат. XXXI Междунар. науч.-практ. конф. М. : ВНИИПО, 2019. С. 63–68.
2. Morys M., Illerhaus B., Sturm H., Schartel B. Variation of intumescent coatings revealing different modes of action for good protection performance // Fire Technology. 2017. Vol. 53. Pp. 1569–1587. DOI: 10.1007/s10694-017-0649-z
3. Kang J., Takahashi F., T'ien J.S. Computer tomography based structure characterization of expanded intumescent coatings for fire protection // Fire Technology. 2019. Vol. 55. Pp. 689–712. DOI: 10.1007/s10694-018-0796-x
4. Vasilchenko A., Otrosh Yu., Adamenko N., Doronin E., Kovalov A. Feature of fire resistance calculation of steel structures with intumescent coating // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 230. P. 02036. DOI: 10.1051/mateconf/201823002036
5. Qin S., Pour M.G., Lazar S., Wagberg L., Grunlan J.C., Song Y. et al. Super gas barrier and fire resistance of nanoplatelet/nanofibril multilayer thin films // Advanced Materials Interfaces. 2018. DOI: 10.1002/admi.201801424
6. Schaumann P., Kirsch T. Protected steel and composite connections: simulation of the mechanical behaviour of steel and composite connections protected by intumescent coating in fire // Journal of Structural Fire Engineering. 2015. Vol. 6. Issue 1. Pp. 41–48. DOI: 10.1260/2040-2317.6.1.41
7. Puspitasari W.C., Ahmad F., Ullah S., Hussain P., Megat-Yusoff P.S.M., Masset P.J. The study of adhesion between steel substrate, primer, and char of intumescent fire retardant coating // Progress in Organic Coatings. 2019. Vol. 127. Pp. 181–193. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2018.11.015
8. Kaledin V.I., Mitkevich A.B., Strakhov V.L. Numerical estimation of fire resistance and a flexible design of fire protection for structures made of reinforced materials // Mechanics of Composite Materials. 2012. Vol. 48. Pp. 313–324. DOI: 10.1007/s11029-012-9278-2
9. Голованов В.И., Павлов В.В., Пехотиков А.В. Оценка качества нанесения средств огнезащиты на стальные конструкции зданий и сооружений различного функционального назначения // Пожарная безопасность. 2015. № 3. С. 74–82.
10. Gravit M., Simonenko Ya., Yablonskii L. 3D-flexible intumescent fire protection mesh for building structures // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 91. P. 02004. DOI: 10.1051/e3sconf/20199102004

11. Tomakhova A., Zybina O., Suprun V., Babkin O. Development of led-curable intumescent polymer coatings for fire protection of building constructions // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 666. P. 012089. DOI: 10.1088/1757-899X/666/1/012089
12. Крутоланов А.С. Разработка огнепреграждающих сеточных экранов со вспенивающимися эпоксидными покрытиями и перекрывающимися пенококсом ячейками в условиях пожара : дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2002. 134 с.
13. Гравит М.В., Недрышкин О.В., Бардин А.В. Повышение пределов огнестойкости строительных конструкций нефтегазового комплекса при углеводородном режиме пожара // Труды 13-й Международной выставки и конференции по освоению ресурсов нефти и газа Российской Арктики и континентального шельфа стран СНГ (RAO/CIS OFFSHORE). СПб. : ХИМИЗДАТ, 2017. С. 448.
14. Minkin D.Y., Mironchev A.V., Tursenev S.A. Technologies of maintaining fire safety of the offshore oil and gas fields facilities // Pollution Research. 2017. Vol. 36. Issue 3. Pp. 640–644.
15. Nolan D.P. Handbook of fire and explosion protection engineering principles for oil, gas, chemical and related facilities. Gulf Professional Publ., 2011. 340 p. DOI: 10.1016/C2009-0-64221-5
16. Gravit M., Gumerova E., Bardin A., Lukinov V. Increase of fire resistance limits of building structures of oil-and-gas complex under hydrocarbon fire // International Scientific Conference Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport. 2018. Pp. 818–829. DOI: 10.1007/978-3-319-70987-1_87
17. Дринберг А.С., Гравит М.В., Зыбина О.А. Огнезащита конструкций интумесцентными лакокрасочными материалами при углеводородном режиме пожара // Лакокрасочные материалы и их применение. 2018. № 1–2. С. 44–49.
18. Абрамов И.В., Гравит М.В., Гумерова Э.И. Повышение пределов огнестойкости судовых и строительных конструкций при углеводородном температурном режиме // Газовая промышленность. 2018. № 5. С. 106–115.
19. Fox D.M., Cho W., Dubrulle L., Grützmacher P.G., Zammarano M. Intumescent polydopamine coatings for fire protection // Green Materials. 2020. DOI: 10.1680/jgrma.19.00065
20. Jensen J.L., Narasimhan H., Giuliani L., Jomaas G. Development of fire protection for bridge cable systems // ce/papers. 2019. Vol. 3. Issue 3–4. Pp. 671–676. DOI: 10.1002/cepa.1119
21. Triantafyllidis Z., Bisby L.A. Fibre-reinforced intumescent fire protection coatings as a confining material for concrete columns // Construction and Building Materials. 2020. Vol. 231. P. 117085. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.117085
22. Гравит М.В. Оценка порового пространства пенококсов огнезащитных вспучивающихся покрытий // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2013. Т. 22. № 5. С. 33–37.

REFERENCES

1. Gravit M.V., Prusakov V.A., Simonenko Ya.B. Bending constructional intumescent (3D) fire protection for building structures. *Actual Problems of Fire Safety : Materials of the XXXI International Scientific and Practical Conference*. Moscow, VNIPO Publ., 2019; 63–68. (rus.).
2. Morys M., Illerhaus B., Sturm H., Scharfel B. Variation of intumescent coatings revealing different modes of action for good protection performance. *Fire Technology*. 2017; 53:1569–1587. DOI: 10.1007/s10694-017-0649-z
3. Kang J., Takahashi F., T'ien J.S. Computer tomography based structure characterization of expanded intumescent coatings for fire protection. *Fire Technology*. 2019; 55:689–712. DOI: 10.1007/s10694-018-0796-x
4. Vasilchenko A., Otrosh Yu., Adamenko N., Doronin E., Kovalov A. Feature of fire resistance calculation of steel structures with intumescent coating. *MATEC Web of Conferences*. 2018; 230:02036. DOI: 10.1051/mateconf/201823002036
5. Qin S., Pour M.G., Lazar S., Wagberg L., Grunlan J.C., Song Y. et al. Super gas barrier and fire resistance of nanoplatelet/nanofibril multilayer thin films. *Advanced Materials Interfaces*. 2018. DOI: 10.1002/admi.201801424
6. Schaumann P., Kirsch T. Protected steel and composite connections: simulation of the mechanical behaviour of steel and composite connections protected by intumescent coating in fire. *Journal of Structural Fire Engineering*. 2015; 6(1):41–48. DOI: 10.1260/2040-2317.6.1.41
7. Puspitasari W.C., Ahmad F., Ullah S., Hussain P., Megat-Yusoff P.S.M., Masset P.J. The study of adhesion between steel substrate, primer, and char of intumescent fire retardant coating. *Progress in Organic Coatings*. 2019; 127:181–193. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2018.11.015
8. Kaledin V.I., Mitkevich A.B., Strakhov V.L. Numerical estimation of fire resistance and a flexible design of fire protection for structures made of reinforced materials. *Mechanics of Composite Materials*. 2012; 48:313–324. DOI: 10.1007/s11029-012-9278-2
9. Golovanov V.I., Pavlov V.V., Pekhotikov A.V. Assessment of quality application of fire protection means on steel constructions of buildings and structures of various functional purposes. *Fire safety*. 2015; 3:74–82. (rus.).
10. Gravit M., Simonenko Ya., Yablonskii L. 3D-flexible intumescent fire protection mesh for building structures. *E3S Web of Conferences*. 2019; 91:02004. DOI: 10.1051/e3sconf/20199102004
11. Tomakhova A., Zybina O., Suprun V., Babkin O. Development of led-curable intumescent polymer coatings for fire protection of building constructions. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019; 666:012089. DOI: 10.1088/1757-899X/666/1/012089

12. Krutolapov A.S. *Development of fire-retardant mesh screens with foaming epoxy coatings and overlapping penox cells in a fire : dis. ... cand. tech. sciences.* St. Petersburg, 2002; 134. (rus.).
13. Gravit M.V., Nedryshkin O.V., Bardin A.V. Increasing fire resistance limits of building structures of oil and gas complex during the hydrocarbon fire mode. *Works of the 13th International Exhibition and Conference on Oil and Gas Resources Development of the Russian Arctic and CIS Continental Shelf (RAO/CIS OFFSHORE)*. St. Petersburg, CHIMIZDAT Publ., 2017; 448. (rus.).
14. Minkin D.Y., Mironchev A.V., Tursenev S.A. Technologies of maintaining fire safety of the offshore oil and gas fields facilities. *Pollution Research*. 2017; 36(3):640-644.
15. Nolan D.P. *Handbook of Fire and Explosion Protection Engineering Principles for Oil, Gas, Chemical and Related Facilities*. Gulf Professional Publ., 2011; 340. DOI: 10.1016/C2009-0-64221-5
16. Gravit M., Gumerova E., Bardin A., Lukinov V. Increase of fire resistance limits of building structures of oil-and-gas complex under hydrocarbon fire. *International Scientific Conference Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport*. 2018; 818-829. DOI: 10.1007/978-3-319-70987-1_87
17. Drinberg A.S., Gravit M.V., Zybina O.A. Fire protection with intumescent coatings under the hydrocarbon fire conditions. *Russian Coatings Journal*. 2018; 1-2:44-49. (rus.).
18. Abramov I.V., Gravit M.V., Gumerova E.I. Increase in the fire resistance limits of ship and building structures with hydrocarbon fire. *Gas Industry Magazine*. 2018; 5:106-115. (rus.).
19. Fox D.M., Cho W., Dubrulle L., Grützmacher P.G., Zammarano M. Intumescent polydopamine coatings for fire protection. *Green Materials*. 2020. DOI: 10.1680/jgrma.19.00065
20. Jensen J.L., Narasimhan H., Giuliani L., Jomaas G. Development of fire protection for bridge cable systems. *ce/papers*. 2019; 3(3-4):671-676. DOI: 10.1002/cepa.1119
21. Triantafyllidis Z., Bisby L.A. Fibre-reinforced intumescent fire protection coatings as a confining material for concrete columns. *Construction and Building Materials*. 2020; 231:117085. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.117085
22. Gravit M.V. Evaluation of pore space form of intumescent fire retardant coating. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2013; 22(5):33-37. (rus.).

Поступила 26.03.2020, после доработки 20.04.2020;

принята к публикации 17.05.2020

Received March 26, 2020; Received in revised form April 20, 2020;

Accepted May 17, 2020

Информация об авторах

ГРАВИТ Марина Викторовна, канд. техн. наук, доцент Высшей школы промышленно-гражданского и дорожного строительства, Инженерно-строительный институт, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; Author ID: 667288; ResearcherID: B-4397-2014; ORCID: 0000-0003-1071-427X; e-mail: marina.gravit@mail.ru

ПРУСАКОВ Василий Алексеевич, технический директор, ООО «ПРОМИЗОЛ», г. Люберцы, Московская обл., Российская Федерация; ORCID: 0000-0003-4720-2024; e-mail: info@tdpromizol.com

КОРОТИН Игорь Германович, генеральный директор, АО «Унихимтек», г. Подольск, Московская обл., Российская Федерация; ORCID: 0000-0001-9406-7887; e-mail: korotin@ograh.ru

ТИМОФЕЕВ Николай Сергеевич, директор по маркетингу, ООО «ПРОМИЗОЛ», г. Люберцы, Московская обл., Российская Федерация; ORCID: 0000-0002-7484-7226; e-mail: info@tdpromizol.com

СИМОНЕНКО Яна Борисовна, студентка, Инженерно-строительный институт, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; ORCID: 0000-0003-3123-6350; e-mail: YannaSimnna98@mail.ru

Information about the authors

Marina V. GRAVIT, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Institute of Civil Engineering, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russian Federation; Author ID: 667288; ResearcherID: B-4397-2014; ORCID: 0000-0003-1071-427X; e-mail: marina.gravit@mail.ru

Vasily A. PRUSAKOV, Technical Director, "PROMIZOL" Ltd, Lyubertsy, Moscow Region, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-4720-2024; e-mail: info@tdpromizol.com

Igor G. KOROTIN, General Director, "UNICHIMTEK" JSC, Podolsk, Moscow Region, Russian Federation, ORCID: 0000-0001-9406-7887; e-mail: korotin@ograh.ru

Nikolay S. TIMOFEEV, Marketing Director, "PROMIZOL" Ltd, Lyubertsy, Moscow Region, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-7484-7226; e-mail: info@tdpromizol.com

Yana B. SIMONENKO, Student, Institute of Civil Engineering, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-3123-6350; e-mail: YannaSimnna98@mail.ru