

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

RESEARCH AND PRACTICE ASPECTS OF IDENTIFICATION OF DEFECTS OF FIRE RETARDANT COATINGS OF BUILDING STRUCTURES

Ю. В. КРИВЦОВ, д-р техн. наук

И. Р. ЛАДЫГИНА, канд. техн. наук

Н. О. МЕЛЬНИКОВ, канд. техн. наук

Работа имеет целью формирование научно-методических подходов к выявлению дефектов огнезащитных покрытий, которые позволят более полно и квалифицированно проводить экспертную оценку состояния огнезащитных покрытий и, как следствие, снижать общие уровни рисков и пожарную опасность. Приведены результаты исследований огнезащитных покрытий, эксплуатируемых на металлоконструкциях, по таким показателям как адгезия, коэффициент вспучивания, химический состав, термоаналитические характеристики.

The work is mainly aimed at developing scientific and methodological approaches to identification of defects in fire retardant coatings that will allow more complete and qualified expert assessment of the state of fire-retardant coatings and, as a result, reduce overall risk levels and fire hazard. The results of research on fire-retardant coatings used on metal structures are given according to such indices as adhesion, intumescence coefficient, chemical composition, thermoanalytical characteristics.

Ключевые слова:

Выявление дефектов огнезащитных покрытий, огнезащита строительных конструкций, огнезащитные покрытия

Key words:

Fire protection of building structures, fire retardant coatings, identification of defects of fire retardant coatings

Безопасность строительных объектов принимает с каждым днем всё более важное значение в нашем обществе. Остро стоят вопросы обеспечения пожарной безопасности при строительстве, реконструкции и эксплуатации уникальных промышленных и общественных зданий и сооружений. Статистика МЧС России показывает, что за последние пять лет обстановка с пожарами и их последствиями имеет устойчивую положительную динамику снижения, но при этом гибель людей остается неоправданно высокой. Поэтому применение конструкций с высокой степенью огнестойкости, а строительных материалов – с минимальной пожарной опасностью является перво-степенной задачей при проектировании и строительстве здания.

Необходимость соблюдения требований пожарной безопасности объектов обусловила появление множества разработок по огнезащите материалов и конструкций путем нанесения на их поверхность огнезащитных средств, базирующихся в большинстве своем на антипиренах с варьируемым соотношением и целевыми добавками.

Огнезащитные покрытия, нанесенные на конструкции, могут иметь различные дефекты, вызванные нарушением технологий устройства покрытий, а также естественным старением. Сроки эксплуатации огнезащитных покрытий, за редкими исключениями, не проверяются производителями, а предполагаются исходя из опыта применения такого рода покрытий, в том числе отсутствует согласованность нормативной базы по определению огнезащитных свойств покрытия с выявлением параметров их старения.

Поэтому большую роль играет практика выявления несоответствий эксплуатируемых огнезащитных покрытий требованиям нормативных документов и, таким образом, определение возможного снижения имеющихся огнезащитных свойств. На практике это связано с контролем качества выполнения работ и продлением сроков эксплуатации огнезащитных покрытий. Работы по переустройству огнезащитных покрытий строительных конструкций по истечении срока эксплуатации – очень трудоемкий процесс, часто связанный с приостановкой деятельности предприятия. В некоторых случаях это недопустимо, а в других это можно предупредить, проведя комплекс исследований по подтверждению сохранения защитных свойств покрытия и при положительных результатах продлить срок эксплуатации.

По истечении срока эксплуатации, установленного производителем, огнезащитное покрытие подлежит проверке сохранности его огнезащитных свойств, которая включает в себя проведение идентификации методами термического анализа. При этом нормативными документами регламентируется отбор проб огнезащитного покрытия с обследуемого объекта и их количества относительно общей площади, но не регламентируются места отбора, которые должны зависеть от выявляемых дефектов и их площади.

Данная работа направлена на выработку научно-методических подходов к выявлению дефектов огнезащитных покрытий, которые позволят более полно и квалифицированно проводить экспертную оценку состояния огнезащитных покрытий и, как следствие, снижать общие уровни рисков и пожарную опасность.

Основная часть строительных конструкций, применяемых в современном строительстве, выполнена из металла и железобетона. Исходя из этого, имеет место множество разработок и производимых составов для доведения пределов огнестойкости конструкций до нормируемых показателей. Основными здесь являются покрытия, формируемые на основе огнезащитных красок и штукатурок на различных по природе связующих.

При огнезащите металлических конструкций в настоящее время в основном используются конструктивные штукатурные огнезащитные материалы и вспучивающиеся краски, а при огнезащите железобетонных конструкций в большинстве случаев – конструктивные штукатурные огнезащитные материалы [1 – 4]. Широкое применение современных штукатурных огнезащитных материалов связано с обеспечением высоких пределов огнестойкости, низкой плотностью и теплопроводностью, технологичностью нанесения [5, 6].

Контроль состояния огнезащитных покрытий должен проводиться при сдаче работ, а также в процессе эксплуатации.

В различной нормативно-технической документации в зависимости от вида огнезащитного материала зачастую приводятся положения о контроле качества выполнения огнезащитных работ. Существуют различные стандарты организаций, в которых приводятся разделы по контролю качества, включающие визуальные и инструментальные методы: проверка документации на огнезащитное покрытие; визуальная оценка внешнего вида огнезащитного покрытия; замеры толщины огнезащитного покрытия; проверка адгезии огнезащитного покрытия. В настоящий момент идет развитие методов оценки качества огнезащитных покрытий [7].

Любой визуальный осмотр огнезащитного покрытия при контроле качества выполнения работ или при продлении срока эксплуатации имеет первостепенное значение. Все нормативные документы предусматривают анализ дефектов, но при этом методик выявления и классификации последних нет.

Оценка состояния огнезащитной обработки в течение всего гарантийного срока проводится путем визуального контроля и с использованием контрольно-измерительных приборов.

Оценку соответствия выполненных работ по огнезащите строительных конструкций осуществляют в три этапа:

- изучение предоставленной исполнительной документации с целью получения исходных данных для проведения оценки соответствия выполненных работ по огнезащите конструкций;
- визуальный контроль;
- контроль с применением контрольно-измерительных приборов и экспресс-методов.

Визуальный контроль основывается на оценке внешнего вида покрытия путем осмотра. При осмотре конструкций и изделий, которые защищены составами, обра-

зующими на поверхности объекта слой покрытия, определяется соответствие поверхности покрытия требованиям технической документации на применение состава и наличие необработанных мест; трещин, отслоений, вздутий, осыпаний; посторонних пятен, инородных включений и других повреждений.

Растрескивания, отслоения образуются вследствие:

- 1) некачественной подготовки поверхности конструкций, что приводит к ухудшению адгезионных свойств огнезащитных покрытий;
- 2) несоблюдения технологии нанесения;
- 3) несоответствия условий нанесения и эксплуатации (перепады температуры и влажности воздуха, попадание влаги на покрытие).

Потеки, наплывы, сморщивание образуются вследствие:

- 1) несоблюдения технологии устройства покрытия (толщина слоя превышает допустимые в 1,5 – 2,0 раза);
- 2) несоответствия условий нанесения и эксплуатации (в условиях повышенной влажности (более 85 %) покрытие плохо сохнет, течет и деформируется);
- 3) неполадок при работе оборудования.

Пузыри, набухание лакокрасочного покрытия образуются вследствие воздействия влаги и ее проникновения под покрытие.

Коррозия на поверхности огнезащитного покрытия свидетельствует о нарушении целостности огнезащитного покрытия на данном участке.

Все указанные несоответствия влекут за собой снижение огнестойкости конструкций, инженерного оборудования, повышение пожарной опасности материалов и изделий, вследствие чего огнестойкость конструкций перестает соответствовать проектной огнестойкости зданий (сооружений), ухудшается состояние объектов в отношении пожарной опасности.

На дефектных участках покрытие снимают, поверхность окрашивают заново. Особое внимание при контроле следует обращать на места соединений элементов конструкций и на труднодоступные места для нанесения огнезащитного покрытия.

При оценке соответствия проводится выборочный контроль с использованием контрольно-измерительных приборов для измерения толщины нанесенного слоя и его адгезии с целью оценки условий проведения огнезащитных работ и мониторинга огнезащитной эффективности при эксплуатации огнезащитных покрытий.

При продлении сроков эксплуатации огнезащитных покрытий должен предусматриваться также термический анализ образцов, отобранных с объекта с целью подтверждения термоаналитических характеристик. Данный метод осложнен тем, что по прошествии срока эксплуатации, исследователям требуется контрольный образец сравнения исходного материала, который зачастую невозможно получить, так как последний может уже быть снят с производства. Тогда полноценное подтверждение соответствия свойств покрытия нормативным документам не может быть получено.

В качестве основных при оценке огнезащитных свойств покрытий используются методы термического анализа (ТА).

Применение ТА позволяет:

- контролировать качество огнезащиты;
- оценивать изменение огнезащитных свойств покрытий в конкретных условиях эксплуатации;
- определять значимые ТА-характеристики.

Дефекты огнезащитных покрытий при качественном выполнении работ образуются только в процессе эксплуатации и связаны в основном с процессами старения и разрушения, а также с механическим повреждением.

Современные огнезащитные покрытия – очень сложные комплексные системы веществ, в состав которых входят разные типы связующих, антипиренов, специальных добавок, вспомогательных веществ [8 – 10]. Каждое из веществ, входящих в состав огнезащитного покрытия, выполняет ряд специфических функций, в целом определяя огнезащитные свойства покрытия. Соответственно, процесс старения, происходящий с каждым веществом в системе, может негативно отразиться на огнезащитной эффективности покрытия.

В процессе эксплуатации огнезащитные покрытия подвергаются воздействию различных факторов: света, температуры, кислорода воздуха, химически агрессивных сред, механических нагрузок. В результате воздействия этих факторов происходит разрушение покрытий, связанное с протеканием в плёнках необратимых химических и физических процессов.

В условиях эксплуатации весьма трудно установить влияние каждого из этих факторов на процесс разрушения покрытий. Поэтому изучение процесса старения покрытий, как правило, производится в определенных условиях, под действием отдельных факторов. Процессы старения и изменение свойств огнезащитных покрытий в зависимости от различных факторов при эксплуатации представляют весьма актуальную и малоизученную проблему. Известны работы, посвященные этим исследованиям, но они касаются изменения свойств покрытий в лабораторных условиях [11 – 14].

В начальной стадии старения наблюдается более четкое проявление надмолекулярных структур, закладываемых предисторией покрытия (в растворе, расплаве) и в процессе пленкообразования, а также формирование новых структурных элементов, которые уже с момента возникновения имеют тенденцию располагаться в определенном порядке. Последующее старение покрытия приводит к агрегированию структурных элементов и к образованию более сложных морфологических форм. Для одних лакокрасочных систем развитие надмолекулярных структур в процессе старения продолжается вплоть до разрушения покрытий, для других же систем с определенного момента старения рост структурных образований прекращается и наблюдается их стабилизация.

Покрытия, обладающие определенным комплексом химических свойств, приобретают совсем другой комплекс физических свойств вследствие изменения организации надмолекулярных структур в процессе старения.

Химические процессы, протекающие в покрытии при старении, способствуют формированию первичных структурных элементов с последующим образованием вторичных структур. На первой стадии старения покрытий химические явления неотделимы от структурных явлений, так как процессы деструкции и структурообразования протекают одновременно. В результате деструкции в покрытии возникают «свободные» объемы из-за улетучивания газообразных продуктов деструкции, а также более гибкие подвижные химические связи. На этой стадии старения покрытий наблюдается структурное упорядочение системы, приводящее к увеличению плотности упаковки макромолекул. При последующем старении плотность пленки снижается и образуется более рыхлая система, что связано с дальнейшими процессами структурообразования и возникновением более крупных надмолекулярных структур.

Изменение надмолекулярных структур в процессе старения происходит ступенчато – от простых форм к более сложным. Этот процесс сопровождается ростом внутренних напряжений и снижением прочностных характеристик и адгезии покрытий. Изучение влияния исходной надмолекулярной структуры покрытий на их устойчивость к процессам старения позволило установить, что характер и плотность упаковки надмолекулярной структуры определяют механизм разрушения покрытий под воздействием света, температуры и агрессивных сред. Закономерности изменения морфологии поверхности покрытий не зависят от условий старения. Изменение этих условий определяет лишь вид и степень разрушения покрытий.

Старение покрытий в различных условиях эксплуатации проявляется в потере блеска, изменении цвета, мелении, растрескивании, отслаивании и возникновении подплёночной коррозии, в снижении огнезащитной эффективности.

Старение начинается с покрывных слоев (при их наличии), наиболее подверженных внешним воздействиям, и продолжается непосредственно в объеме огнезащитного покрытия.

Специалистами Научного экспертного бюро пожарной, экологической безопасности в строительстве ЦНИИСКА им В. А. Кучеренко проводятся работы по исследованиям и наблюдению за состоянием различных огнезащитных покрытий как в процессе эксплуатации на различных объектах защиты, так и в лабораторных условиях и в условиях искусственного старения. Имеется опыт наблюдения за покрытиями, которые эксплуатируются около 20 лет и срок эксплуатации которых уже несколько раз продлевался по результатам исследований и идентификации их свойств. В частности, ведутся многолетние наблюдения за огнезащитным покрытием «Уникум» на несущих металлических конструкциях Балаковской АЭС.

Срок эксплуатации огнезащитных лакокрасочных покрытий обычно устанавливается производителем и равен 10-15 лет. В настоящее время многие разработчики проводят исследования по ускоренному климатическому старению с целью более

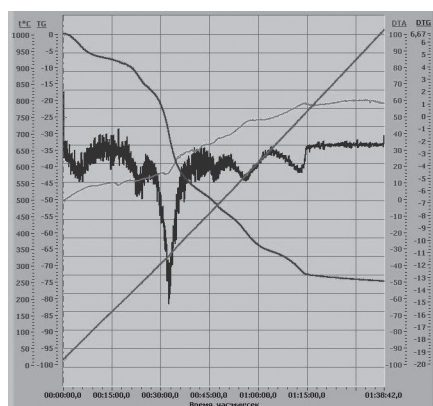
точного определения сроков возможной эксплуатации. На такие испытания существует система стандартов, которая в общем случае распространяется и предназначена для исследования антикоррозионных лакокрасочных покрытий. В ней приводятся показатели, характеризующие сохранность покрытия и защищаемого материала после ускоренного старения в заданном промежутке времени. Такие испытания проводят и для огнезащитных материалов, и тогда на основании выявления визуальных дефектов делаются выводы о сохранности, в том числе и огнезащитных свойств. Это не совсем правильно, так как определение огнезащитной эффективности – нормируемый показатель, и его необходимо также проверять по истечении искусственного старения, но имеющаяся нормативная база и аппаратно-приборная оснащённость испытательных центров позволяет проводить такие исследования далеко не для всех видов материалов и покрытий. Более того, принятые характеристики сохранения огнезащитной эффективности после ускоренного или натурального старения не существуют.

Имеющиеся методики идентификации и подтверждения сохранения огнезащитных свойств материалов методами химических и термических исследований применимы только на вспучивающихся покрытиях.

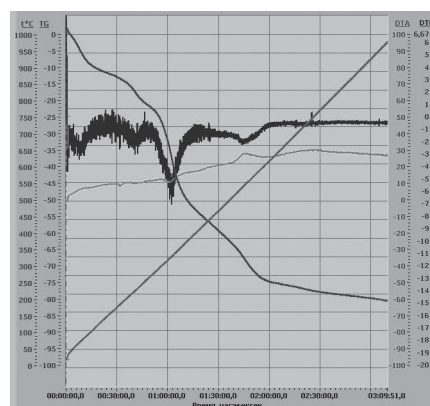
В состав водно-дисперсионных и органорастворимых огнезащитных вспучивающихся покрытий входит множество ингредиентов, на общую эффективность которых в значительной степени влияют количество и качество отобранного сырья. Основными компонентами таких систем, способствующими образованию пенококсового слоя, являются меламин, пентаэритрит и полифосфат аммония [15 – 17]. Полифосфат аммония (ПФА) является ключевым элементом в цепочке реакций образования пенококсового слоя в огнезащитных составах. Поэтому идентификация огнезащитных покрытий проводится методами химического и термического анализа с целью получения представлений о количествах основных действующих веществ вспучивающихся покрытий для последующей оценки сохранения огнезащитной эффективности покрытия.

В 2002 г. для обеспечения предела огнестойкости 0,75 ч (R45) на несущие металлоконструкции машинного зала Балаковской АЭС нанесено огнезащитное покрытие, которое представляет собой трехслойную композицию, формируемую путем нанесения антикоррозийной грунтовки «ГФ-021», огнезащитной краски «Уникум» и покрывной краски «Темаклор-40».

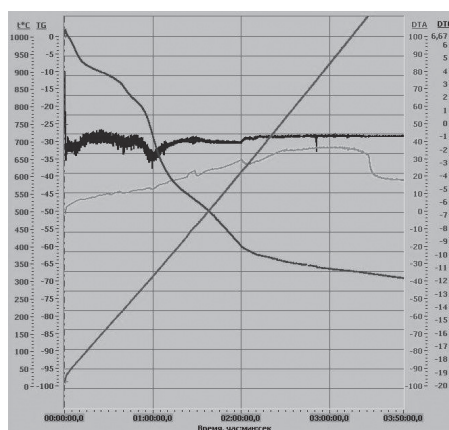
В 2016 г. проведены исследования огнезащитного покрытия с целью определения сохранности огнезащитных свойств. Проводились исследования отобранных с металлоконструкций образцов в сравнении с образцом-идентификатором по таким показателям как адгезия, коэффициент вспучивания, химический состав, термоаналитические характеристики. Дериватограммы образцов огнезащитного покрытия с различной степенью сохранения огнезащитных свойств представлены на рисунке.



а



б



в

Рисунок. Характерные дериватограммы образцов покрытия: а – сохранившие огнезащитные свойства; б – утратившие огнезащитные свойства до 30 %; в – полностью утратившие огнезащитные свойства или не являющиеся огнезащитными

Установлено, что толщины огнезащитного покрытия снизились в среднем в пределах 10 % относительно исходного покрытия. Отрыв покрытия от основания в основном носит когезионный характер, а сцепление системы огнезащитного покрытия к металлическому основанию в среднем составляет не менее 1,5 МПа. Содержание основных действующих веществ, а именно, ПФА, в составе проб снизилось в среднем на 10 %, а количество меламин снизилось приблизительно на 15 % по сравнению с его содержанием в свежем покрытии аналогичного состава.

На основании результатов ТА установлено, что основные процессы, определяющие огнезащитную эффективность материала, протекают на нескольких этапах деструкции в диапазоне температур 200 - 700 °С. Сравнение результатов термического анализа исследуемых образцов покрытия показало, что деструкция протекает подобно образцу-

идентификатору. При этом сохраняются величины амплитуд и температур максимумов основных (значимых) пиков ДТГ, коксовых и зольных остатков при сохранении соотношения экспериментальных и теоретических статистических критериев Фишера и Стьюдента. Наблюдаемые расхождения в температурном интервале 30 - 180 °С (связанные с потерей влаги образца идентификатора) являются несущественными (примерно 5 % по массе), так как при длительных сроках эксплуатации влажность материала на объекте практически снижается до минимальных значений. При этом наблюдается снижение значимых характеристик термоаналитических кривых с увеличением высоты огнезащитных металлических конструкций, что может быть связано с ростом температуры эксплуатации огнезащитного покрытия при увеличении высоты конструкции.

Анализ полученных экспериментальных данных позволил систематизировать следующие показатели:

- температура начала термического разложения в среднем составляет 180 - 200 °С, а окончания – 650 – 670 °С;
- максимальная скорость потери массы образца составляет 310 - 340 %/мин;
- зольный и коксовый остатки составляют в среднем более 20 %;
- коэффициент вспучивания огнезащитного покрытия после эксплуатации в среднем снижается с 30 до 20.

Полученные данные позволяют рассчитать среднее снижение эффективности огнезащитных покрытий в размере 1 – 2 % в год при условии правильной эксплуатации.

Библиографический список

1. *Рязанова Г. Н., Горелов С. А.* Анализ перспективных огнезащитных покрытий металлических конструкций / В сб.: Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство. Самарский государственный архитектурно-строительный университет.– Самара, 2016.– С. 284-286.
2. *Барышников А. А., Горелов С. А., Мустафин Н. Ш.* Анализ перспективных огнезащитных покрытий металлических конструкций // Региональное развитие. – 2016.– № 2. – С. 6.
3. *Bronzova M. K., Garifullin M. R.* Fire Resistance Of Thin-Walled Cold-Formed Steel Structures // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2016. – № 3 (42). – С. 61-78.
4. *Бод К., Сэше М., Фонтэно С., Фрим А., Жуков Р.* Огнезащитные покрытия: последние разработки в функциональных покрытиях, которые спасают жизнь // Лакокрасочные материалы и их применение. – 2017.– № 6.– С. 20-27.

5. *Кривцов Ю. В., Ладыгина И. Р., Колесников П. П.* Современные методы обеспечения огнестойкости стальных и железобетонных конструкций // Вестник АО «НИЦ «Строительство». – 2017. – №3(14). – С. 134-143.

6. *Кривцов Ю. В.* Современные средства противопожарной защиты // Промышленное и гражданское строительство. – 2014. – №9. – С. 5-7.

7. *Смирнов Н. В., Булага С. Н., Дудеров Н. Г., Булгаков В. В.* Развитие методов оценки качества огнезащитных покрытий, результаты экспериментальных исследований // Актуальные проблемы пожарной безопасности. Материалы XXVII Международной научно-практической конференции, посвященной 25-летию МЧС России: В 3 частях. – 2015. – С. 265-274.

8. *Кислов Г. Г., Егорова В. А.* Влияние свойств компонентов огнезащитных вспучивающихся покрытий на повышение огнестойкости металлоконструкций // Материалы III региональной молодежной научно-практической конференции с международным участием. – 2014. – С. 6-9.

9. *Халтуринский Н. А., Крупкин В. Г.* Огнезащитные вспучивающиеся покрытия – механизм теплоизоляции // Горение и взрыв. – 2012. – Т. 5. № 5. – С. 204-209.

10. *Халтуринский Н. А., Кудрявцев Ю. А.* Огнезащитные вспучивающиеся покрытия // Горение и взрыв. – 2014. – Т. 7. № 7. – С. 223-225.

11. *Докучаева Л. В., Старостенков А. С., Мельников Н. О.* Исследование процессов ускоренного старения огнезащитных покрытий // Успехи в химии и химической технологии. – 2012. – Т. 26. № 2 (131). – С. 99-104.

12. *Гравит М. В.* Исследование влияния различных факторов на коэффициент вспучивания органорастворимых огнезащитных покрытий // Лакокрасочные материалы и их применение. – 2013. – № 6. – С. 12-17.

13. *Калмагамбетова А. Ш., Аяпбергенова Б. Е., Дивак Л. А., Бакирова Д. Г.* Исследование атмосферостойких огнезащитных вспучивающихся покрытий // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 4-3. – С. 571-574.

14. *Мельников Н. О., Старостенков А. С., Яковенко Т. В., Акинин Н. И.* Исследование сохранения эффективности огнезащитных покрытий после ускоренного старения // Успехи в специальной химии и химической технологии. Тр. Всероссийской научно-технической конференции, посвящённой 80-летию основания Инженерного химико-технологического факультета РХТУ им. Д. И. Менделеева. – 2015. – С. 388-392.

15. *Гравит М. В., Бурова А. Е.* Исследование термоаналитических характеристик ПФА как основного компонента вспучивающихся огнезащитных покрытий // Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Сб. научн. тр. Всероссийской научно-практической конференции. Кафедра «Управление и защита в чрезвычайных ситуациях», Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – 2015. – С. 232-236.

16. *Рушкина К. С., Зыбина О. А.* Влияние характеристик пентаэритрита на процесс термолитиза огнезащитных вспучивающихся покрытий // Научные технологии функ-

циональных материалов. тезисы докладов III международной научно-технической конференции. – 2016. – С. 19-20.

17. Сильников М. В., Зыбина О. А. Изучение влияния пентаэритрита на огнезащитные свойства вспучивающихся покрытий // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. – 2016. – № 9-10 (99-100). – С. 85-88.

Авторы:

Юрий Владимирович КРИВЦОВ, д-р техн. наук, проф., руководитель Научного экспертного бюро пожарной, экологической безопасности в строительстве ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

Yuri KRIVTSOV, Doctor of Engineering, Full Professor, Head of Scientific expert bureau of fire and ecological safety in construction of TSNIISK named after V. A. Koucherenko JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: krivtsov@tsniisk.ru; nebpbs@tsniisk.ru

тел.: +7 (499) 174-74-31

Ирина Романовна ЛАДЫГИНА, канд. техн. наук, с. н. с., заместитель руководителя Научного экспертного бюро пожарной, экологической безопасности в строительстве ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

Irina LADYGINA, Ph.D. in Engineering, Chief researcher, Deputy Head of Scientific expert bureau of fire and ecological safety in construction TSNIISK named after V. A. Koucherenko JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: nebpbs@tsniisk.ru

тел.: +7 (499) 174-74-31

Никита Олегович МЕЛЬНИКОВ, канд. техн. наук, заведующий сектором Научного экспертного бюро пожарной, экологической безопасности в строительстве ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

Nikita MELNIKOV, Ph.D. in Engineering, Chief manager of Sector of Scientific expert bureau of fire and ecological safety in construction TSNIISK named after V. A. Koucherenko JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: nebpbs@tsniisk.ru

тел.: +7 (499) 174-74-31