УДК 699.941
https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-1(36)-41-50 EDN: ZICYNA

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ, ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА И ПРОДЛЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ МАШИННЫХ ЗАЛОВ АЭС

Ю.В. КРИВЦОВ, д-р техн. наук
И.Р. ЛАДЫГИНА, канд. техн. наук
Ю.М. ГРОШЕВ✉, канд. техн. наук
М.А. КОМАРОВА, канд. хим. наук
Г.П. ЕРЕМИНА

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

Аннотация

Введение. В данной статье рассмотрены способы и средства контроля огнезащитных покрытий металлоконструкций машинных залов действующих АЭС при проведении работ по оценке технического состояния, остаточного ресурса и продления срока службы огнезащитных покрытий, что является весьма актуальной задачей, особенно в рамках подготовки и продления срока эксплуатации АЭС. Для действующих АЭС замена огнезащитных покрытий, в связи с истечением срока службы, представляет собой порой труднопреодолимую задачу.

Цель работы – установление актуальных требований к содержанию и последовательности проведения работ по оценке технического состояния, остаточного ресурса и продления срока службы огнезащитных покрытий металлоконструкций машинных залов АЭС.

Материалы и методы. Проведен анализ существующих способов и методов оценки технического состояния, остаточного ресурса и продления срока службы огнезащитных покрытий металлоконструкций машинных залов действующих АЭС.

Результаты. Рассмотрены известные способы и методы оценки технического состояния, остаточного ресурса и продления срока службы огнезащитных покрытий, проанализирована их эффективность и отмечены перспективные направления по установлению/прогнозированию гарантийных сроков службы: разработка перспективных огнезащитных составов с повышенными сроками эксплуатации и разработка необходимых программ-методик по установлению, обоснованию гарантийных сроков сохранности огнезащитных покрытий и оценки возможности его увеличения.

Выводы. Установлены требования к содержанию и последовательности проведения работ по оценке технического состояния, остаточного ресурса и продления срока службы огнезащитных покрытий металлоконструкций машинных залов действующих АЭС.

Ключевые слова: огнезащитное покрытие, машинный зал АЭС, огнезащитная эффективность покрытия, срок службы

Для цитирования: Кривцов Ю.В., Ладыгина И.Р., Грошев Ю.М., Комарова М.А., Еремина Г.П. Оценка технического состояния, остаточного ресурса и продления срока службы огнезащитных покрытий металлоконструкций машинных залов АЭС. *Вестник НИЦ «Строительство».* 2023;36(1);41–50. https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-1(36)-41-50

Вклад авторов
Все авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

Финансирование
Исследование выполнялось за счет средств ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство».

Конфликт интересов
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 14.11.2022
Поступила после рецензирования 19.12.2022
Принята к публикации 24.01.2023

ASSESSMENT OF THE TECHNICAL STATE, RESIDUAL LIFE AND SERVICE LIFE EXTENSION OF FIRE-RETARDANT COATINGS FOR NPP TURBINE HALL METAL STRUCTURES

Yu.V. KRIVTSOV, Dr. Sci. (Engineering)
I.R. LADYGINA, Cand. Sci. (Engineering)
Yu.M. GROSHEV✉, Cand. Sci. (Engineering)
M.A. KOMAROVA, Cand. Sci. (Chem.)
G.P. EREMINA

Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 1, Moscow, 109428, Russian Federation

Abstract

Introduction. The article examines methods and means of monitoring the fire-retardant coatings of metal structures used in turbine halls of operating NPPs during the works on the assessment of the technical state, residual service life and service life extension of fire-retardant coatings. This appears to be an extremely urgent task, especially within the framework of the NPP pre-operation and service life extension. For operating NPPs, the re-surfacing of fire-retardant coatings due to the service life expiration can represent an insurmountable task.

Aim. To establish current requirements for the content and sequence of works on the assessment of the technical state, residual life and service life extension of fire-retardant coatings applied to NPP turbine hall metal structures.

Materials and methods. An analysis of existing methods and techniques for assessing the technical state, residual service life and service life extension of fire-retardant coatings applied to the turbine hall metal structures of operating NPPs was carried out.

Results. The acknowledged methods and techniques for assessing the technical state, residual service life and service life extension of fire-retardant coatings are examined, their effectiveness is analyzed and promising trends on the establishment/forecast of the guaranteed service life are noted, including the development of promising fire-retardant compositions with an increased service life and the development of necessary programs-procedures for the establishment and substantiation of the guaranteed storage life of fire-retardant coatings, as well as the assessment of its extension.

Conclusion. The requirements for the content and sequence of works on the assessment of the technical state, residual life and service life extension of fire-retardant coatings applied to NPP turbine hall metal structures are established.

Keywords: fire-retardant coating, NPP turbine hall, coating fire-retardant efficiency, service life

For citation: Krivtsov Yu.V., Ladygina I.R., Groshev Yu.M., Komarova M.A., Eremina G.P. Assessment of the technical state, residual life and service life extension of fire-retardant coatings for NPP turbine hall metal structures. *Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2023;36(1):41–50. (In Russ.). https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-1(36)-41-50

Author contribution statements
All authors have made equal contributions to the preparation of this article.

Funding
The research was supported by the Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction.

Conflict of interest
The authors declare no conflict of interest.

Received 14.11.2022
Revised 19.12.2022
Accepted 24.01.2023

Введение

Задача установления требований к содержанию и последовательности проведения работ по оценке технического состояния, остаточного ресурса и продления срока службы огнезащитных покрытий металлоконструкций машинных залов (далее – машзал) действующих АЭС является весьма актуальной, особенно в рамках подготовки и продления срока эксплуатации АЭС.

Кроме этого, в соответствии с п. 13 Правил противопожарного режима в Российской Федерации (с изменениями на 21 мая 2021 года) [1] в случае окончания гарантированного срока эксплуатации огнезащитного покрытия строительных конструкций и инженерного оборудования в соответствии с технической документацией изготовителя средства огнезащиты и (или) производителя огнезащитных работ руководитель организации обеспечивает проведение повторной обработки конструкций и инженерного оборудования объектов защиты или ежегодное проведение испытаний либо обоснований расчетно-аналитическими методами, подтверждающими соответствие конструкций и инженерного оборудования требованиям пожарной безопасности.

Особенное значение имеет тот факт, что для действующих энергоблоков замена огнезащитных покрытий, в связи с истечением срока службы, представляет собой порой труднопреодолимую задачу. В первую очередь это связано с тем, что счистить старое огнезащитное покрытие и грунтовку на действующем энергоблоке АЭС практически невозможно, так как сроки проведения ППР (планово-предупредительного ремонта) на действующих энергоблоках АЭС весьма ограничены. Покрывать придется огнезащитным покрытием, отличным от ранее примененного состава, так как для большинства энергоблоков 70–80-х годов выпуска ранее примененные составы уже не выпускаются. Кроме этого, необходимо проведение специальных исследований по адгезии и получение сертификационных заключений по так называемому «пирогу» (новый состав наносится на ранее нанесенное покрытие).

Результаты

Выбор огнезащитного покрытия необходимо определять с учетом:

– величины требуемого предела огнестойкости;

– типа защищаемой конструкции и ориентации защищаемых поверхностей в пространстве (колонны, стойки, ригели, балки, связи);

– температурно-влажностных условий эксплуатации и производства работ по огнезащите;

– степени агрессивности окружающей среды по отношению к огнезащите и материалу конструкции, а также степени агрессивности материала огнезащиты по отношению к стали и бетону;

– эстетических требований к конструкциям.

Выполнение обоснования остаточного ресурса сверх установленного проектом срока эксплуатации огнезащитного покрытия несущих металлоконструкций необходимо проводить с учетом:

– оценки технического состояния;

– результатов проведения испытаний образцов;

– рекомендаций по объемам ремонтно-восстановительных работ;

– мероприятий на продлеваемый период.

Освидетельствование технического состояния огнезащитных покрытий несущих металлических конструкций проводится в соответствии с [2]. Необходимо разработать, согласовать и утвердить рабочую программу обследования огнезащитного покрытия несущих металлоконструкций. Для АЭС программа обследования должна быть согласована с генпроектировщиком и привлекаемыми к работам специализированными организациями, а при необходимости – с привлечением организации, являющейся разработчиком или производителем огнезащитного состава. Оценка соответствия состояния огнезащиты предъявляемым требованиям осуществляется в три этапа:

– изучение предоставленной исполнительной документации для 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 огнезащитными составами, определяется соответствие поверхности покрытия требованиям технической документации (ТД) на применение состава и наличие:

– необработанных мест;

– трещин, отслоений, вздутий, осыпаний;

– посторонних пятен, инородных включений и других повреждений.

На дефектных участках покрытие снимается, поверхность покрывается заново. Особое внимание при контроле следует обращать на места соединений элементов конструкций и труднодоступных участков для нанесения огнезащитного покрытия.

В случае непревышения гарантийного срока (срока службы) необходимо проверить состояние огнезащитного покрытия:

а) внешний вид покрытия, отсутствие отслоений, трещин, сколов, вспучивания и других механических повреждений;

б) соответствие толщины нанесенного огнезащитного покрытия требованиям технической документации.

Для оценки соответствия проводится выборочная проверка 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. Для этого могут привлекаться сторонние организации, уполномоченные на проведение этих работ. По результатам работ составляется протокол проверки состояния огнезащитного покрытия.

При наличии отслоений, трещин, сколов, вспучивания и других механических повреждений и/или несоответствий толщины нанесенного огнезащитного покрытия требованиям технической документации проводится восстановление огнезащитного покрытия. На дефектных участках покрытие снимается, поверхность окрашивается заново.

В случае превышения назначенного срока эксплуатации (срока службы) проводятся испытания образцов огнезащитного покрытия несущих металлических конструкций и образцов-идентификаторов (при их наличии).

Отбор образцов покрытия несущих металлических конструкций для испытаний производится в количестве не более 5 штук на каждые 1000 м^2 поверхности огнезащитного покрытия с составлением акта отбора образцов. Площадь каждого образца должна быть не менее 2 см^2. В местах отбора образцов огнезащитное покрытие подлежит ремонту огнезащитным составом.

Отбор образцов-идентификаторов огнезащитного состава, нанесенного на металлические конструкции, производится на предприятии-изготовителе этого огнезащитного состава с составлением акта отбора образцов. Образцы-идентификаторы должны соответствовать требованиям технических условий (ТУ) или иной нормативной документации предприятия – производителя огнезащитного состава.

Аппаратура и методы испытаний

Применяются следующие методы испытаний образцов.

1. Определение коэффициента вспучивания образцов.

Сущность метода заключается в определении коэффициента вспучивания *K*, который вычисляется как отношение толщины вспененного образца материала (в миллиметрах), полученного при нагреве в течение не менее 30 минут при температуре (500 ± 25) °С, к первоначальной толщине образца материала до испытания (в миллиметрах).

Определяют исходную толщину образца микрометром (погрешность ± 0,01 мкм). В специальной капсуле или ином приспособлении для удерживания навесок образцов от расползания образцы помещают в муфельную печь, разогревают ее до (500 ± 25) °С и выдерживают в течение 30 минут. По истечении времени образец извлекают из печи и дают остыть до комнатной температуры. Измерения толщины вспучившегося образца проводятся металлической линейкой (погрешность определения ± 1 мм). Используя полученные данные, высчитывают коэффициент вспучивания по формуле:

$$K = \frac{\delta_1}{\delta_0},$$

где δ_0 – первоначальная толщина образца, мм;

δ_1 – толщина образца после нагрева, мм.

Испытания проводят не менее чем на трех образцах, за итоговый результат принимается среднее арифметическое значение всех опытов.

В соответствии с п. 6.5 [3] результирующее значение коэффициента вспучивания должно составлять 2 и более (расчеты проводят по отношению к минимальной из сравниваемых величин).

Можно определять коэффициент вспучивания *K* образцов огнезащитного покрытия с использованием автоматизированного прибора термического анализа, имеющего программное обеспечение для обработки результатов, например, с использованием дериватографа Q-1500D. Определяют исходную толщину каждого образца микрометром с погрешностью ± 0,01 мкм. Образцы в тигле помещают в печь, нагревают со скоростью 10 °С/мин до температуры 475 °С и выдерживают в течение 30 минут. По истечении времени образцы извлекают из печи и дают остыть до комнатной температуры. Далее измеряют толщину вспучившихся образцов металлической линейкой (погрешность определения ± 1 мм).

2. Термический анализ.

Термический анализ проводится согласно методическим указаниям ГОСТ Р 53293-2009 [4]. Результаты испытаний образцов, отобранных с металлоконструкций, сравниваются с аналогичными результатами, полученными для образцов-идентификаторов. Сравнению подлежат значимые характеристики термического анализа, полученные на приборах одного класса и при одинаковых условиях эксперимента:

– масса, форма и размер образцов;
– форма, размер и материал тигля;
– вид газа динамической атмосферы и расход газа;
– скорость нагревания.

Термический анализ (ТА) проводился в соответствии с ГОСТ Р 53293-2009 [4] с использованием методов: термогравиметрического (ТГ), термогравиметрического по производной (ДТГ) и дифференциально-термического анализа (ДТА). Можно применять для получения идентификационных характеристик образцов автоматизированный прибор термического анализа, имеющий программное обеспечение для обработки результатов, например, дериватограф Q-1500D.

Оценку результатов проводят согласно п. 7 ГОСТ Р 53293-2009 [4]. При испытаниях в дериватографе коэффициент вспучивания *K* более 10 может считаться вполне удовлетворительным результатом, свидетельствующим о наличии огнезащитных свойств материала.

3. Определение полифосфата аммония.

Полимерные материалы в виде покрытий или массивных конструкций подвергаются целому комплексу функциональных нагрузок и воздействий со стороны окружающей среды. Влияние окружающей среды определяется в основном климатическими воздействиями и условиями эксплуатации. К ним относятся: температура (в частности, суточные и сезонные перепады температуры), влага в форме дождя, тумана или влажного воздуха, ультрафиолетовое излучение, агрессивные примеси в воздухе и т. д.

В состав огнезащитных покрытий в качестве полимерного материала, подверженного старению, входит не только пленкообразователь, но и одно из основных веществ, отвечающих за огнезащитную эффективность покрытия, – полифосфат аммония (далее – ПФА).

Как показывает опыт, из всех климатических воздействий внутри помещений особенно способствует старению полимеров ультрафиолетовое излучение. Это могут быть трещины

на огнезащитных покрытиях и снижение прочности. Причину этих явлений можно найти в фотохимических реакциях, ускоряющих окислительные процессы. Как правило, в процессе старения постоянно участвует кислород воздуха.

Количественное определение содержания ПФА в образцах покрытия, отобранных с металлоконструкций машзалов энергоблоков АЭС, проводится с использованием фотометрического метода определения по желтой окраске фосфорнованадиевомолибденового комплекса [5]. По полученным результатам делается вывод, что количества определенных веществ соответствуют обычно применяемым соотношениям основных действующих веществ огнезащитных вспучивающихся композиций и их содержаниям в покрытиях аналогичного состава. Наблюдаемое их уменьшение свидетельствует о снижении огнезащитной эффективности покрытия.

4. Оценка прогнозируемого срока службы системы огнезащитного покрытия в условиях эксплуатации УХЛ3 (категория размещения 3 предусматривает эксплуатацию в крытых помещениях без регулирования температурных условий с естественной вентиляцией (температура практически не отличается от уличной, нет брызг и струй воды, незначительное количество пыли).

Ускоренные климатические испытания проводят по ГОСТ 9.401-2018 [6], методу 13 для определения устойчивости защитных, декоративных и физико-механических свойств при эксплуатации в нерегулярно отапливаемых помещениях атмосферы умеренного и холодного климата (УХЛ3) и установления прогнозируемого срока службы.

Оценку состояния покрытия в процессе испытаний проводят по ГОСТ Р 9.407-2015 [7].

Оценку изменений, происходящих в покрытии и под покрытием в процессе испытаний, проводят емкостно-омическим методом по ГОСТ 9.409-88 [8].

Определение адгезии методом нормального отрыва проводят по ГОСТ 32299-2013 (ИСО 4624) [9].

Оценку прогнозируемого срока службы проводят по ГОСТ 9.401-2018 [6], п. 6.5.9.

После проведения всех необходимых испытаний принимается один из следующих выводов:

а) о продлении срока эксплуатации существующих огнезащитных покрытий несущих металлических конструкций;

б) об удалении огнезащитных покрытий с поверхности несущих металлических конструкций с последующим нанесением сертифицированного огнезащитного покрытия.

Заключение

По результатам проведенного анализа следует отметить два перспективных направления по вопросам оценки технического состояния, остаточного ресурса и продления срока службы огнезащитных покрытий металлоконструкций машзалов действующих АЭС.

1. Разработка перспективных огнезащитных составов с повышенными сроками эксплуатации.

2. Доработка (разработка) нормативной базы, в частности, разработка необходимых программ-методик, состава работ по установлению, обоснованию и подтверждению гарантийных сроков для установления/прогнозирования гарантийных сроков сохранности, оценка возможности их увеличения.

Список литературы

1. Правила противопожарного режима в Российской Федерации (с изменениями на 21 мая 2021 года): Постановление Правительства РФ от 16.09.2020, № 1479 [интернет]. Режим доступа: https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=400013
2. СП 432.1325800.2019. Покрытия огнезащитные. Мониторинг технического состояния. Москва: Стандартинформ; 2019.
3. ГОСТ Р 59637-2021. Средства противопожарной защиты зданий и сооружений. Средства огнезащиты. Методы контроля качества огнезащитных работ при монтаже (нанесении), техническом обслуживании и ремонте [интернет]. Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/1200180684
4. ГОСТ Р 53293-2009. Пожарная опасность веществ и материалов. Материалы, вещества и средства огнезащиты. Идентификация методами термического анализа. Москва: Стандартинформ; 2011.
5. ГОСТ 10671.6-74. Реактивы. Методы определения примеси фосфатов [интернет]. Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/1200017558
6. ГОСТ 9.401-2018. Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Покрытия лакокрасочные. Общие требования и методы ускоренных испытаний на стойкость к воздействию климатических факторов. Москва: Стандартинформ; 2018.
7. ГОСТ 9.407-2015. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Метод оценки внешнего вида. Москва: Стандартинформ; 2015.
8. ГОСТ 9.409-88. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Методы ускоренных испытаний на стойкость к воздействию нефтепродуктов. Москва: Издательство стандартов; 1988.
9. ГОСТ 32299-2013 (ISO 4624: 2002). Материалы лакокрасочные. Определение адгезии методом отрыва. Москва: Стандартинформ; 2014.
10. СП 13.13130.2009. Атомные станции. Требования пожарной безопасности. Москва: МЧС России; 2009.
11. ГОСТ Р 51372-99. Методы ускоренных испытаний на долговечность и сохраняемость при воздействии агрессивных и других специальных сред для технических изделий, материалов и систем материалов. Общие положения. Москва: Госстандарт России; 2000.
12. СП 468.1325800.2019. Бетонные и железобетонные конструкции. Правила обеспечения огнестойкости и огнесохранности. Москва: Стандартинформ; 2020.
13. ГОСТ Р 9.414-2012. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Метод оценки внешнего вида. Москва: Стандартинформ; 2014.

References

1. Rules of the fire regime in the Russian Federation (as amended on May 21, 2021). Resolution of the Government of the Russian Federation of 16.09.2020, № 1479 [internet] (in Russian). Available at: https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=400013
2. SP 432.1325800.2019. Fireproof coatings. Monitoring of technical condition. Moscow: Standartinform Publ.; 2019 (in Russian).
3. State Standard R 59637-2021. Fire protection means for buildings and structures. Means of fire protection. Methods of quality control of fire-retardant works during installation (application), maintenance and repair [internet] (in Russian). Available at: https://docs.cntd.ru/document/1200180684
4. State Standard R 53293-2009. Fire hazard of substances and materials. Materials, substance and fire protective means. Identification by thermal analysis methods. Moscow: Standartinform Publ.; 2011 (in Russian).
5. State Standard 10671.6-74. Reagents. Methods for determination of phosphates [internet] (in Russian). Available at: https://docs.cntd.ru/document/1200017558
6. State Standard 9.401-2018. Unified system of corrosion and ageing protection. Paint coatings. General requirements and methods of accelerated tests on resistance to the influence of climatic factors. Moscow: Standartinform Publ.; 2018 (in Russian).
7. State Standard 9.407-2015. Unified system of corrosion and ageing protection. Paint coatings. Method of appearance rating. Moscow: Standartinform Publ.; 2015 (in Russian).

8. State Standard 9.409-88. Unified system of corrosion and ageing protection. Paint coatings. Methods of accelerated tests for the resistance to the effect of petroleum products. Moscow: Standards Publishing House; 1988 (in Russian).
9. State Standard 32299-2013 (ISO 4624: 2002). Paint materials. Pull-off test for adhesion. Moscow: Standartinform Publ.; 2014 (in Russian).
10. SP 13.13130.2009. Nuclear Power Plants. Fire Safety Requirements. Moscow: Emergency Control Ministry; 2009 (in Russian).
11. State Standard R 51372-99. Accelerated life and storable life test methods in special aggresive and other special media for technical products, materials and systems of materials. General. Moscow: Gosstandart of Russia; 2000 (in Russian).
12. SP 468.1325800.2019. Concrete and reinforced concrete structures. Rules for ensuring of fire resistance and fire safety. Moscow: Standartinform Publ.; 2020 (in Russian).
13. State Standard R 9.414-2012. Unified system of corrosion and ageing protection. Paint coatings. Method of appearance rating. Moscow: Standartinform Publ.; 2014 (in Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Юрий Владимирович Кривцов, д-р техн. наук, руководитель научного экспертного бюро пожарной, экологической безопасности в строительстве ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: krivtsov.cniisk@mail.ru
Yurii V. Krivtsov, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Expert Bureau Head, Scientific Expert Bureau of Fire and Environmental Safety in Construction, Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: krivtsov.cniisk@mail.ru

Ирина Романовна Ладыгина, канд. техн. наук, заместитель руководителя научного экспертного бюро пожарной, экологической безопасности в строительстве ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: ladigina@yandex.ru
Irina R. Ladygina, Cand. Sci. (Engineering), Deputy Head, Scientific Expert Bureau of Fire and Environmental Safety in Construction, Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: ladigina@yandex.ru

Юрий Михайлович Грошев✉, канд. техн. наук, ведущий специалист научного экспертного бюро пожарной, экологической безопасности в строительстве ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: groshev52@gmail.com
Yuri M. Groshev✉, Cand. Sci. (Engineering), Leading Specialist, Scientific Expert Bureau of Fire and Environmental Safety in Construction, Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: groshev52@gmail.com

Марина Александровна Комарова, канд. хим. наук, заведующий лабораторией научного экспертного бюро пожарной, экологической безопасности в строительстве ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: maria.kom5@mail.ru
Marina A. Komarova, Cand. Sci. (Chem.), Laboratory Head, Scientific Expert Bureau of Fire and Environmental Safety in Construction, Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: maria.kom5@mail.ru

Галина Петровна Еремина, заведующая лабораторией научного экспертного бюро пожарной, экологической безопасности в строительстве ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: Erem-galina@yandex.ru
Galina P. Eremina, Laboratory Head, Scientific Expert Bureau of Fire and Environmental Safety in Construction, Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: Erem-galina@yandex.ru

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author