

Научная статья

УДК 699.812.3 + 614.841.41

doi: 10.17223/29491665/5/2

Разработка современных пожаробезопасных материалов и технологий

Игорь Александрович Малый¹, Ирина Юрьевна Шарабанова²,
Светлана Александровна Сырбу³, Александр Леонидович Никифоров⁴

^{1, 2, 3, 4} Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Иваново, Россия

¹ mail@edufire37.ru

² sharabanova@bk.ru

³ syrbue@yandex.ru

⁴ anikiforoff@list.ru

Аннотация. Рассмотрены основные направления в области разработки пожаробезопасных материалов и технологий, реализуемые в Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России, и ключевые научные результаты, полученные коллективами академии в данной области, а также возможности проведения на базе академии натурных испытаний новых огнетушащих средств.

Ключевые слова: пожарная безопасность, огнезащита, тушение пожаров

Для цитирования: Малый И.А., Шарабанова И.Ю., Сырбу С.А., Никифоров А.Л. Разработка современных пожаробезопасных материалов и технологий // Технологии безопасности жизнедеятельности. 2024. № 5. С. 12–17. doi: 10.17223/29491665/5/2

Original article

doi: 10.17223/29491665/5/2

Development of modern fire-safe materials and technologies

Igor A. Malyj¹, Irina Yu. Sharabanova², Svetlana A. Syrbu³, Alexandr L. Nikiforov⁴

^{1, 2, 3, 4} Ivanovo Fire Rescue Academy of the State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, Ivanovo, Russian Federation

¹ mail@edufire37.ru

² sharabanova@bk.ru

³ syrbue@yandex.ru

⁴ anikiforoff@list.ru

Abstract. The main directions in the field of development of fire-safe materials and technologies, implemented in Ivanovo Fire Rescue Academy of the State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters and the key scientific results obtained by the Academy's teams in this field are considered. The works are carried out in the field of fire protection of textile materials, fire protection of building materials, assessment of fire hazard of electrical cable products, protection of technological equipment from the formation of pyrophoric chemical compounds, development and research of fire extinguishing ability of fire extinguishing agents.

Keywords: fire safety, fire protection, fire extinguishing

For citation: Malyj, I.A., Sharabanova, I.Yu., Syrbu, S.A. & Nikiforov, A.L. (2024) Development of modern fire-safe materials and technologies. *Tekhnologii bezopasnosti zhiznedejatelnosti – Life Safety / Security Technologies*. 5. pp. 12–17. (In Russian). doi: 10.17223/29491665/5/2

Введение

Необходимость разработки новых пожаробезопасных материалов и технологий обуславливается увеличением количества техногенных чрезвычайных ситуаций, все более усложняющейся архитектурой потенциально опасных объектов, на которых может произойти

пожар. Увеличение технологических производств и мощностей в различных областях экономики, развитие энергетического потенциала, транспортной инфраструктуры, строительство зданий и сооружений сложной планировки требуют специальной методологии соответствия появляющимся нововведениям, модификации и внедрения новых технологий, позволяющих

реализовывать различные мероприятия в области противопожарной безопасности вне зависимости от характера чрезвычайной ситуации.

В Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России работа в данной области ведется по пяти направлениям:

- огнезащита текстильных материалов;
- огнезащита строительных материалов;
- оценка пожарной опасности и исследование причин возникновения пожаров электрокабельной продукции;
- защита технологического оборудования от образования пирофорных отложений;
- разработка и исследование огнетушащей способности средств пожаротушения.

Огнезащита текстильных материалов

Результатами исследований в области огнезащиты текстильных материалов стали методы оценки пожароопасных свойств текстильных материалов. Методы позволяют охарактеризовать горючесть тканей. Это дает возможность проводить сравнительный анализ эффективности огнезащитной отделки вне зависимости от способа нанесения.

В академии разработан ряд рецептов интумесцентных огнезащитных составов. Данные составы придают материалам водо- и огнезащитные свойства и предназначены для тканей технического назначения из природной целлюлозы. Механизм защитного действия составов состоит в способности вспучиваться и образовывать на поверхности материала слой кокса, предотвращающий дальнейшее горение [1].

Предложена модель экспериментального теплозащитного композиционного материала для боевой одежды пожарного. Материал имеет повышенную стойкость к воздействиям интенсивного теплового излучения, высокой температуры окружающей среды, кратковременного контакта с открытым пламенем и нагретыми предметами, других опасных факторов, возникающих при тушении пожаров и эксплуатационных нагрузках. Применение разработанного композиционного материала позволит обеспечить равномерность распределения температуры во внутреннем пространстве одежды, снизить уровень производственного травматизма пожарных, повысить эффективность выполнения задач по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ. Основой для композиционного материала служит объемная матрица, получаемая с помощью технологии 3D ткачества или трикотажа.

Композиционный полимерный материал, приведенный на рис. 1, состоит из огнезащитного слоя 1, на

который с фронтальной стороны нанесено пленочное покрытие, и теплоизолирующего слоя 3 из термостойких синтетических волокон, с тыльной стороны соединенного с гигиеническим слоем.



Рис. 1. Образец композиционного материала

Fig. 1. Sample of the composite material

Пленочное покрытие выполнено из кремнийорганического полимера с наполнителем из вакуумированных микросфер и отражающим инфракрасное излучение пигментом и обеспечивает защиту от влаги и ветра.

Огнезащитный слой и теплоизолирующий слой соединены друг с другом посредством перемычек 2, которые могут быть выполнены из армированных арамидных, кремнеземных или базальтовых нитей из негорючего материала и отвечают за жесткость материала, что определяется требуемыми защитными характеристиками элемента от механических воздействий. Теплоизолирующий слой 3 с тыльной стороны соединен с гигиеническим слоем, выполненным из хлопчатобумажных нитей, пропитанных биоцидным препаратом, что позволяет обеспечить дополнительную тепловую защиту и комфортные условия при контакте материала с открытыми участками тела [2].

За счет упругости перемычек, выполненных из армированных нитей, обеспечивается высокая межслойная прочность и быстрое восстановление формы материала после механического воздействия, например, сдавливания. Физико-механические показатели композиционного полимерного материала можно регулировать за счет изменения толщины армированных нитей – перемычек, их плотности и вида ткачества.

Такое исполнение композиционного материала обеспечивает оптимально комфортные и безопасные условия работы в боевой одежде [3].

Огнезащита строительных материалов

Одним из ключевых направлений в строительной отрасли является расширение использования материалов на основе производных древесины. В то же время известна высокая пожарная опасность самой

древесины и, следовательно, ее производных. Изучение и оценка пожарной опасности строительных конструкций на основе производных древесины, а также разработка и совершенствование методов оценки показателей их пожарной опасности позволит обеспечить выбор наиболее высокоэффективных материалов для строительства. Использование указанных материалов приведет к снижению пожарной опасности в целом зданий жилого назначения, оптимальному выбору средств огнезащиты, в чем и заключается актуальность исследований в области огнезащиты строительных материалов, проводимых в академии. В академии разработан ряд огнезащитных составов для древесины, отличающихся по механизму действия. Перспективными представляются составы, способные не только защищать конструкции от воспламенения и распространения пламени при высокотемпературном воздействии, но и предохранять материал от термодеструкции. Традиционные огнезащитные композиции при огневом воздействии создают микрповреждения на поверхностном слое древесины, что приводит к снижению прочностных свойств конструкций. Предлагаемые быстротвердеющие пенообразующие огнезащитные составы не нарушают структуры древесины, позволяя ей дольше сохранять свои конструкционные свойства.

Результаты работы по изучению огнезащитных составов включают разработанное устройство для определения наличия огнезащитной обработки на строительных конструкциях из древесины [4]. Принцип работы устройства основан на разнице электропроводности неорганических солей, содержащихся в огнезащитных составах, и воздуха, заполняющего поры древесины при отсутствии антипиренов. Предлагаемая модель может быть использована в качестве портативного прибора неразрушающего контроля при проведении профилактических противопожарных мероприятий и оценки огнестойкости конструкций из древесины. Прибор будет отличаться от аналогичных устройств низкой стоимостью и простотой конструкции.

Оценка пожарной опасности и исследование причин возникновения пожаров электрокабельной продукции

Как показывает статистика [5], одной из наиболее частых причин пожаров является неисправность электрооборудования, нарушение правил его эксплуатации. Нередко это выражается в пробое изоляции, тепловом или электрическом. Одним из факторов, способствующих пробое изоляции, в качестве материала которой выступает продукт переработки поли-

винилхлорида (ПВХ) – пластикат, является его старение. Старение полимеров происходит под воздействием как физических, так и химических процессов на протяжении всего срока службы кабельных изделий. Таким образом, исследования, направленные на оценку влияния воздействия температур на изоляцию из ПВХ-диэлектриков с точки зрения пожарной опасности, представляются весьма актуальными.

Поскольку нагрев в процессе эксплуатации ведет к появлению и накоплению дефектов химической структуры ПВХ-пластикатов, одним из методов исследования был предложен синхронный термический анализ, позволяющий диагностировать микроизменения химического состава и строения. Изменение горючести полимерных материалов определялось при помощи показателя кислородного индекса. Исследования проводились на искусственно состаренных образцах. Исследования показали, что количество ПВХ в состаренных образцах уменьшается в результате термической деструкции, что наряду с образованием химических связей между цепочками ПВХ приводит к снижению электроизолирующих свойств материала, тем самым повышая его пожароопасность [6]. На это же указывает и снижение кислородного индекса изоляционного полимера, выявленное в процессе исследования.

Данные исследования позволят разработать научные основы оценки пожароопасных характеристик электрокабельных изделий, произведенных с использованием полимерных электроизоляционных материалов различного состава, с учетом изменения их свойств в процессе эксплуатации, которая сопряжена с термическим и прочими негативными воздействиями.

Защита технологического оборудования от образования пирофорных отложений

Следующее направление в области развития пожаробезопасных технологий связано с разработкой методов защиты технологического оборудования от образования пирофорных отложений.

Пирофорные отложения образуются на внутренней поверхности технологического оборудования, применяемого при переработке и хранении нефти и нефтепродуктов. Опасность пирофорных соединений полисульфидов железа состоит в том, что в присутствии кислорода воздуха они способны самонагреваться и самовоспламеняться, приводя к воспламенению смеси паров нефтепродуктов и кислорода воздуха. Кроме того, высокое содержание соединений химически активной серы в нефти и нефтепродуктах приводит к ускоренной коррозии технологического

оборудования для их переработки, что может привести к его отказу и остановке технологического процесса.

Для разработки методов защиты оборудования необходимо было получить представление о скорости образования и нагрева пирофорных отложений. В результате исследований, проведенных на базе академии, были получены экспериментальные данные о процессах нагрева пирофорных отложений с различной толщиной слоев на поверхности стали, а также установлены экспериментальные зависимости скорости образования пирофорных соединений на поверхности образцов стали марки «Сталь 3» в паровоздушной среде прямогонного бензина и топочного мазута от времени экспонирования при различных концентрациях сероводорода [7]. Совместно с разработанной математической моделью нагрева пирофорных отложений полученные результаты являются предпосылкой для созда-

ния методов контроля технологического процесса переработки и хранения нефтепродуктов, расчета рисков возникновения чрезвычайных ситуаций, связанных с самовозгоранием пирофорных отложений.

На основе полученных теоретических и экспериментальных данных были разработаны методики получения композиционных материалов, способных защитить внутренние стенки резервуаров от сероводородной коррозии совместно с сероочисткой паров нефти.

Очистка паров производится за счет окислительно-адсорбционных способностей разработанных материалов. Предложен ряд рецептов композитных покрытий с повышенной адгезионной прочностью на основе полимочевины для защиты внутренних поверхностей технологического оборудования для хранения нефтепродуктов, разработана технология их нанесения [8]. Пример защитного действия покрытия приведен на рис. 2.

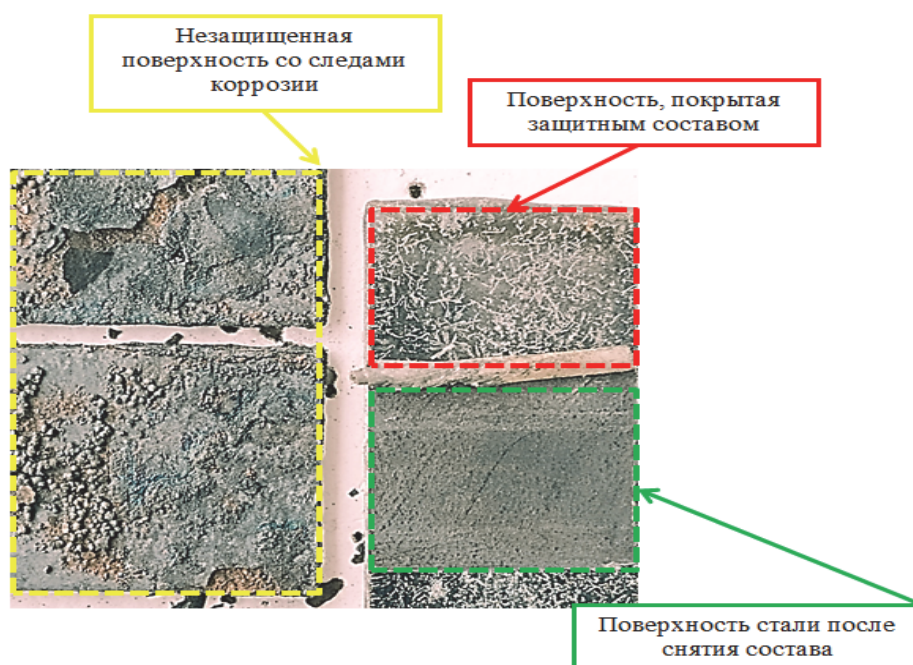


Рис. 2. Сравнение образцов с композитным покрытием и без него после экспонирования образцов в агрессивной среде в течение 90 сут

Fig. 2. Comparison of the specimens with and without composite coating after exposing the specimens in aggressive environment for 90 days

Разработка и исследование огнетушащей способности средств пожаротушения

Если исследования, о которых говорилось выше, направлены на предупреждение возникновения пожаров и чрезвычайных ситуаций, то разработка и исследование огнетушащей способности средств пожаротушения направлены на повышение эффективности тушения. Объектом исследования являются огнетушащие порошковые составы.

Основной результат работы выразился в научном обосновании подбора компонентов и разработке порошковых составов с добавками, значительно повышающими их эксплуатационные свойства.

Научным коллективом академии предложен ряд добавок на основе микрокапсул хладона, окисленного графита, шунгита [9]. Применение модифицированных порошков снижает требуемый для тушения расход от 17 до 39% в зависимости от вида добавки.

В ходе исследований показано, что преобладающим эффектом тушения для разработанных составов является ингибирование процесса горения в гомогенной фазе, которое оказывают микрокапсулы хладона.

Проблема слеживаемости порошковых составов была решена введением гидрофобизирующей добавки на основе химически модифицированного торфа. При этом, как показали испытания, порошка с данным видом добавок для тушения потребовалось меньше на 3,5–23,5% по сравнению с серийно выпускаемыми составами.

Такие результаты обуславливаются термическим разложением компонентов порошка за счет экзотермического разложения торфяной добавки [10]. Необходимо отметить, что для проведения исследований огнетушащей способности порошковых составов в академии была разработана оригинальная методика, позволяющая проводить сравнительную оценку огнетушащей способности порошков, определять минимальную огнетушащую интенсивность прекращения горения, проводить исследования по тушению порошками горючих жидкостей и твердых горючих материалов [10].

Испытания проводились на полигоне Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России. Полигон располагается на территории учебного центра (п. Бибирево) и позволяет проводить испытания на огнетушащую способность с использованием модельных очагов пожара классов А и В. Также на полигоне проводятся исследования средств огнезащиты строительных конструкций, теплообмена в помещениях.

Академия готова к сотрудничеству с другими организациями и предприятиями, занимающимися проблемами обеспечения пожарной безопасности не только в плане проведения совместных научных исследований, но и в плане проведения испытаний новых огнетушащих средств.

Выводы

В области разработки новых пожаробезопасных материалов и технологий в академии выделяются пять направлений.

По направлению огнезащиты текстильных материалов основные результаты заключаются в разработке методов оценки пожароопасных свойств текстильных материалов и рецептур интумесцентных огнезащитных составов. Предложена модель экспериментального теплозащитного композиционного материала для боевой одежды пожарного.

В области огнезащиты строительных материалов разработан ряд огнезащитных составов для древесины, способных защищать конструкции от воспламенения и распространения пламени, а также предохранять материал от термодеструкции.

Исследования, направленные на оценку влияния воздействия температур на изоляцию из ПВХ-диэлектриков, показали, что количество ПВХ в состаренных образцах уменьшается в результате термической деструкции. Это приводит к повышению пожарной опасности изоляционных полимеров.

В результате исследований по защите технологического оборудования от образования пиррофорных отложений разработаны методики получения композиционных материалов, способных защитить внутренние стенки резервуаров от сероводородной коррозии совместно с сероочисткой паров нефти. Предложены рецептуры композитных покрытий с повышенной адгезионной прочностью на основе полимочевины.

Основным результатом исследования огнетушащей способности средств пожаротушения стали порошковые составы с добавками, значительно повышающими их эксплуатационные свойства. Применение модифицированных порошков значительно снижает требуемый для тушения расход.

Внедрение результатов исследований в области разработки современных пожаробезопасных материалов и технологий, проводимых в Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России, будет способствовать снижению уровня техногенной опасности в стране, поддержанию уровня пожарной безопасности на приемлемом уровне.

Список источников

1. Спиридонова В.Г. Исследование пожароопасных свойств текстильных материалов из целлюлозных волокон и совершенствование методов их оценки : дис. ... канд. техн. наук. Иваново, 2022. 163 с.
2. Патент № 191460 Российская Федерация. Объемный тканый огне-теплозащитный материал / Сорокин Д.В., Никифоров А.Л., Циркина О.Г., Ульяева С.Н., Шарабанова И.Ю. № 2019113826, заявлено 06.05.2019; опубл. 06.08.2019. Бюл. № 22. 2 с.
3. Сорокин Д.В. Проектирование и исследование свойств теплозащитного композиционного текстильного материала для боевой одежды пожарного: дис. ... канд. техн. наук. Иваново, 2021. 153 с.
4. Патент № 217200 Российская Федерация. Устройство для определения наличия огнезащитной обработки на строительных конструкциях из древесины / Никифоров А.Л., Панев Н.М., Винокуров М.В. № 2022126676, заявл. 13.10.2022; опубл. 22.03.2023. Бюл. № 9. 2 с.
5. Пожары и пожарная безопасность в 2021 году : стат. сб. Балашиха : ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2022. 114 с.
6. Богданов И.А., Шабунин С.А., Ульяева С.Н., Никифоров А.Л., Шарабанова И.Ю. Оценка влияния температурных воздействий на пожарную опасность изоляции на основе ПВХ-диэлектриков // Современные проблемы гражданской защиты. 2022. № 4 (45). С. 64–70.
7. Азовцев А.Г. Защита оборудования для хранения прямогонного бензина и топочного мазута в условиях сероводородной коррозии : дис. ... канд. техн. наук. Иваново, 2022. 149 с.

8. Митрофанов А.С., Сырбу С.А. Разработка технологии нанесения композитных покрытий, препятствующих образованию пиррофорных отложений на внутренних поверхностях технологического оборудования для хранения нефти // Современные проблемы гражданской защиты. 2023. № 2 (47). С. 93–98.
9. Патент 2605056 Российская Федерация. Огнетушащий порошок многоцелевого назначения / Дмитриев О.В., Попов В.И., Мисников О.С., Малый И.А., Шарабанова И.Ю. № 2015125928/12, заявл. 29.06.2015; опубл. 20.12.2016, Бюл. № 35. 1 с.
10. Дмитриев О.В. Разработка научно обоснованных подходов к повышению эффективности огнетушащих порошковых составов : дис. ... канд. техн. наук. Иваново, 2022. 214 с.

References

1. Spiridonova, V.G. (2022) *Issledovanie pozharoопасnyh svoystv tekstil'nyh materialov iz cellyuloznyh volokon i sovershenstvovanie metodov ih ocenki* [Study of fire hazardous properties of textile materials made from cellulose fibers and improvement of methods for their assessment]. Engineering Cand. Diss. Ivanovo.
2. Sorokin, D.V., Nikiforov, A.L., Cirkina, O.G., Ul'eva, S.N. & Sharabanova, I.Yu. (2019) *Ob'emnyy tkanyy ogne-teplozashchitnyy material* [Volumetric woven fire and heat-proof material]. Patent RU 191460. Russia. № 2019113826, appl. 06.05.2019; publication date 06.08.2019, Bul. No. 22.
3. Sorokin, D.V. (2021) *Proektirovanie i issledovanie svoystv teplozashchitnogo kompozitsionnogo tekstil'nogo materiala dlya boevoy odezhdy pozhar'nogo* [Design and study of the properties of heat-proof composite textile material for firefighter clothing]. Engineering Cand. Diss. Ivanovo.
4. Nikiforov, A.L., Panev, N.M. & Vinokurov, M.V. (2023) *Ustrojstvo dlya opredeleniya nalichiya ognезashchitnoj obrabotki na stroitel'nyh konstrukciyah iz drevesyiny* [Device for determining the presence of fire retardant treatment on wood building structures]. Patent RU 217200. Russia. № 2022126676, appl. 13.10.2022; publication date 22.03.2023, Bul. No. 9.
5. Goncharenko, V.S. & et al. (2022) *Pozhary i pozhar'naya bezopasnost' v 2021 godu* [Fires and fire safety in 2021]. Stat. collection. Balashiha : FGBU VNIPO MCHS Rossii
6. Bogdanov, I.A., Shabunin, S.A., Ul'eva, S.N., Nikiforov, A.L. & Sharabanova, I.Y. (2022) Evaluation of the influence of temperature impacts on the fire hazard of insulation based on PVC-dielectric. *Modern Problems of Civil Protection*. 4 (45). pp. 64–68. (In Russian).
7. Azovcev, A.G. (2022) *Zashchita oborudovaniya dlya hraneniya pryamogonnogo benzina i topochnogo mazuta v usloviyah serovodorodnoj korrozii* [Protection of equipment for storing straight-run gasoline and heating oil under conditions of hydrogen sulfide corrosion]. Engineering Cand. Diss. Ivanovo.
8. Mitrofanov, A.S. & Syrбу, S.A. (2023) Development of a technology for application of composite coatings preventing the formation of pyrophoric deposits on the internal surfaces of technological equipment for oil storage. *Modern Problems of Civil Protection*. 2 (47). pp. 93–98. (In Russian).
9. Dmitriev, O.V., Popov, V.I., Misnikov, O.S., Malyj, I.A. & Sharabanova, I.Yu. (2016) *Ognetushashchij poroshok mnogocелеvogo naznacheniya* [Multi-purpose fire extinguishing powder]. Patent RU № 2605056. Russia. № 2015125928/12, appl. 29.06.2015; publication date 20.12.2016, Bul. No. 35.
10. Dmitriev, O.V. (2022) *Razrabotka nauchno obosnovannyh podhodov k povysheniyu effektivnosti ognetushashchih poroshkovykh sostavov* [Development of scientifically based approaches to increasing the effectiveness of fire extinguishing powder composites]. Engineering Cand. Diss. Ivanovo.

Информация об авторах:

Малый Игорь Александрович – кандидат технических наук, доцент, начальник Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (Иваново, Россия). E-mail: mail@edufire37.ru

Шарабанова Ирина Юрьевна – кандидат медицинских наук, доцент, заместитель начальника Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России по научной работе (Иваново, Россия). E-mail: sharabanova@bk.ru

Сырбу Светлана Александровна – доктор химических наук, профессор, заведующая кафедрой естественнонаучных дисциплин Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (Иваново, Россия). E-mail: syrбу@yandex.ru

Никифоров Александр Леонидович – доктор технических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры пожарной безопасности объектов защиты (в составе УНК «Государственный надзор») Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (Иваново, Россия). E-mail: anikiforoff@list.ru

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors:

Malyj Igor A., Cand. Sc. (Engineering), Associate Professor, Head of the Ivanovo Fire Rescue Academy of the State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters (Ivanovo, Russian Federation). E-mail: mail@edufire37.ru

Sharabanova Irina Yu., Cand. Sc. (Medicine), Associate Professor, Deputy head of the Ivanovo Fire Rescue Academy of the State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters (Ivanovo, Russian Federation). E-mail: sharabanova@bk.ru

Syrбу Svetlana A., Dr. Sc. (Chemistry), Professor, Head of the Department of natural sciences, Ivanovo Fire Rescue Academy of the State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters (Ivanovo, Russian Federation). E-mail: syrбу@yandex.ru

Nikiforov Alexandr L., Dr. Sc. (Engineering), Senior Researcher, Professor, Department of Fire Safety of Protection Facilities (as part of ESC of State Supervision), Ivanovo Fire Rescue Academy of the State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters (Ivanovo, Russian Federation). E-mail: anikiforoff@list.ru

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 25.03.2024; одобрена после рецензирования 08.04.2024; принята к публикации 16.05.2024

The article was submitted 25.03.2024; approved after reviewing 08.04.2024; accepted for publication 16.05.2024