

УДК 614.841.45

ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРУЮЩИХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ОГНЕЗАЩИТНЫЕ ФУНКЦИИ ИНТУМЕСЦЕНТНОГО ПОКРЫТИЯ ПРИ ИСКУССТВЕННОМ СТАРЕНИИ

Головина Екатерина Валерьевна

Уральский институт ГПС МЧС России, г. Екатеринбург, Российская Федерация

Аннотация. В статье приведены результаты испытаний на огнезащитную эффективность огнезащитных интумесцентных составов, модифицированных минеральными и углеродными компонентами, после нахождения анализируемых покрытий в камере соляного тумана. Целью исследования являлся анализ влияния наполнителей на огнезащитные функции вспучивающегося материала при воздействии климатических факторов. В результате испытаний были решены следующие задачи: отбор модифицирующих компонентов, непосредственное проведение испытаний образцов после искусственного старения и анализ полученных результатов. На основе обобщения данных сравнительного анализа покрытий, содержащих модифицирующие добавки, можно заключить, что даже небольшое количество функциональных наполнителей способно существенно улучшить огнезащитные характеристики исследуемых интумесцентных материалов. При введении в огнезащитный состав волластонита и углеродных нанотрубок наблюдается положительный эффект как до, так и после испытаний на искусственное старение. Обнаружено увеличение времени огнезащитной эффективности для всех исследуемых режимов (после 2, 5 и 10 суток в камере соляного тумана). Таким образом, данное исследование подтверждает возможность применения функциональных наполнителей из числа кремнийсодержащих и углеродных компонентов в составе огнезащитных средств для улучшения их эксплуатационных свойств, необходимых для применения на промышленных предприятиях, расположенных в арктических районах.

Ключевые слова: интумесцентные покрытия, огнезащитная эффективность, алюмосиликатные микросферы, углеродные нанотрубки, волластонит, интеркалированный графит, воздействие климатических факторов, сохранение огнезащитных свойств

Для цитирования: Головина Е. В. Влияние модифицирующих наполнителей на огнезащитные функции интумесцентного покрытия при искусственном старении // Техносферная безопасность. 2026. № 2 (51). С. 37–45.

THE EFFECT OF MODIFYING FILLERS ON THE FLAME-RETARDANT FUNCTIONS OF AN INTUMESCENT COATING DURING ARTIFICIAL AGING

Ekaterina V. Golovina

UISFS of EMERCOM of Russia, Ekaterinburg, Russian Federation

Abstract. The article presents the results of tests on the flame-retardant effectiveness of flame-retardant intumescent compositions modified with mineral and carbon components after the analyzed coatings were found in a salt mist chamber. The aim of the study was to analyze the effect of fillers on the flame-retardant functions of a bulging material under the influence of climatic factors. As a result of the tests, the following tasks were solved: selection of modifying components, direct testing of samples after artificial aging and analysis of the results obtained. Based on the generalization of data from a comparative analysis of coatings containing modifying additives, it can be concluded that even a small number of functional fillers can significantly improve the flame-retardant characteristics of the intumescent materials under study.

When wollastonite and carbon nanotubes are introduced into the flame retardant, a positive effect is observed both before and after artificial aging tests. An increase in the time of fire-retardant effectiveness was found for all studied modes (after 2, 5 and 10 days in the salt mist chamber). Thus, this study confirms the possibility of using functional fillers from among silicon-containing and carbon-based components in flame retardants to improve their operational properties necessary for use in industrial enterprises located in Arctic regions.

Keywords: intumescent coatings, flame-retardant efficiency, aluminosilicate microspheres, carbon nanotubes, wollastonite, intercalated graphite, exposure to climatic factors, preservation of flame-retardant properties

For citation: Golovina E. V. The effect of modifying fillers on the flame-retardant functions of an intumescent coating during artificial aging // Technosphere safety. 2026. No. 2 (51). P. 37–45.

Введение

Условия эксплуатации промышленных объектов, расположенных в арктических районах, характеризуются сложностью климатических особенностей (пониженные температуры, повышенная влажность, ультрафиолетовое излучение, сильный ветер и т. д.) и воздействием агрессивной химической среды, обусловленной спецификой предприятий нефтегазовой отрасли. Соответственно, огнезащитные материалы, применяемые на данного рода объектах, должны отвечать следующим требованиям [1–5]:

- работоспособность и сохранение характеристик прочности при температурах от $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$;

- работоспособность при колебании температур от минусовых до плюсовых;
- атмосферостойкость;
- повышенная износостойкость, хорошая адгезия материалов при взаимодействии с осадками;
- сохранение эксплуатационных характеристик в условиях воздействия агрессивных сред.

Несоответствие огнезащитных материалов этим требованиям приводит к снижению огнезащитной эффективности и срока службы покрытия. В связи с этим исследование средств огнезащиты в условиях воздействия таких факторов, как перепады температур, высокая влажность, агрессивное воздействие химических веществ (например, нефтепродуктов) и др., остается необходимым для

оценки эксплуатационной эффективности анализируемых материалов. В настоящее время наметилась тенденция к использованию для огнезащиты в качестве компонентов, снижающих пожарную опасность покрытий, технологических добавок, что позволяет улучшить функциональные характеристики покрытий. В связи с этим изучение влияния модифицирующих компонентов на огнезащитные свойства интумесцентных материалов в результате длительной эксплуатации в условиях агрессивной внешней среды является актуальным и востребованным.

Материалы и методы

В результате ранее проведенных исследований [6–9] было установлено, что при проведении термического анализа интумесцентных материалов с добавлением модифицирующих компонентов наилучшие результаты по термостойкости получены при введении 5%-й добавки алюмосиликатных микросфер (далее — АСМ), что обусловлено каталитическими процессами, протекающими на их поверхности, а также при введении АСМ в наполнении 5 % и углеродных нанотрубок (далее — УНТ) в наполнении 0,05 %. Термогравиметрический анализ модифицированного состава показал, что введение комплексных добавок приводит к уменьшению потери массы только в том случае, когда в качестве углеродсодержащей составляющей модификатора применялись УНТ, что свидетельствует о повышении термостойкости огнезащитного материала.

Результаты исследования показали, что добавки углеродсодержащего и минерального компонентов при введении в огнезащитный интумесцентный состав на эпоксидной основе в целом способствуют снижению

горючести и повышению термостойкости покрытия. Наиболее эффективным является образец, в состав которого входит комплексная добавка УНТ и алюмосиликатных микросфер при степени наполнения 0,05 % и 5 % соответственно. Двойные добавки, содержащие интеркалированный графит (далее — ИГ) и минеральный наполнитель, комплексного положительного эффекта не показали.

Для проверки результатов испытаний огнезащитных составов с добавлением модифицирующих добавок методами синхронного термического анализа также было проведено экспериментальное исследование анализируемых составов методом оценки огнезащитной эффективности в соответствии с ГОСТ 1363-2–2014 [10] и ГОСТ 53295–2009 [11] в условиях углеводородного температурного режима. Для исследования сохранности огнезащитных свойств композиций интумесцентного типа с добавлением модифицирующих компонентов были проведены испытания методом искусственного старения в соответствии с ГОСТ 9.401–2018 [12]. Оценку огнезащитной эффективности проводили после 2, 5 и 10 суток выдержки образцов покрытий в камере соляного тумана (далее — КСТ).

В качестве объектов для анализа были отобраны комплексные модифицирующие добавки из числа минеральных и углеродсодержащих компонентов:

- CaSiO_3 (5 %) + УНТ (0,05 %);
- АСМ (5 %) + УНТ (0,05 %);
- CaSiO_3 (5 %) + ИГ (5 %);
- АСМ (5 %) + ИГ (5 %).

Результаты испытаний огнезащитного состава (далее — ОЗС) с добавлением комплексной добавки после ускоренного старения представлены на рис. 1–3.

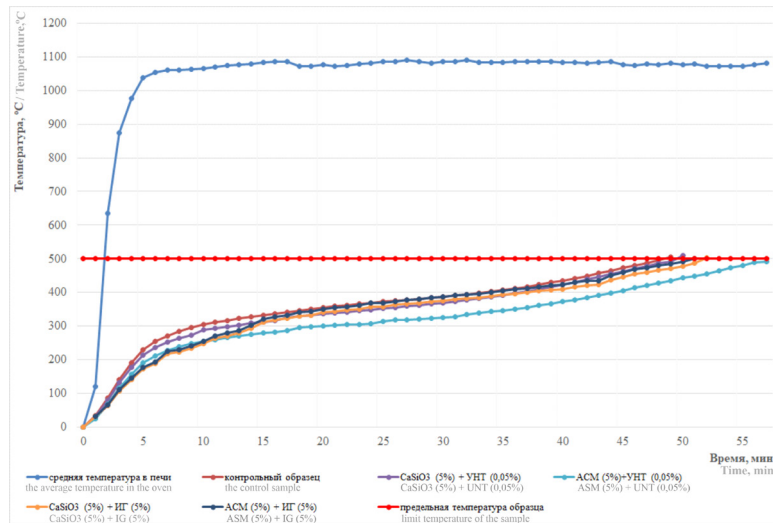


Рис. 1. Результаты испытаний ОЗС с добавлением комплексной добавки после 2 суток КСТ
 Fig. 1. The results of the flame retardant tests with the addition of a complex additive after 2 days of CST

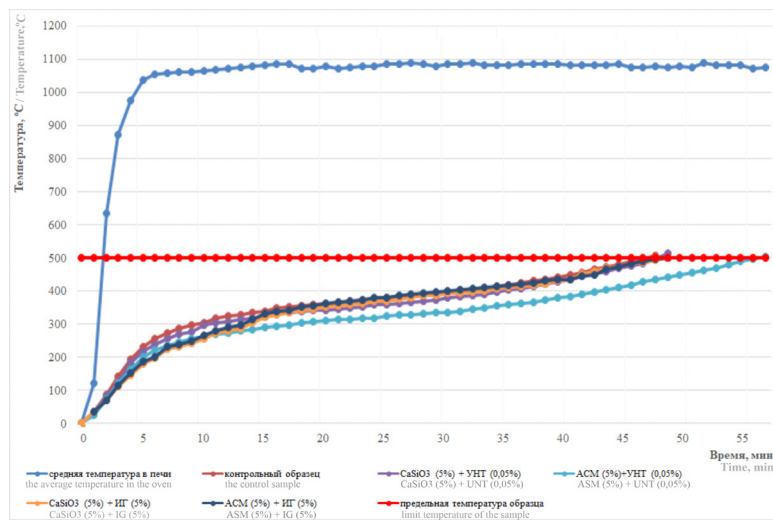


Рис. 2. Результаты испытаний ОЗС с добавлением комплексной добавки после 5 суток КСТ
 Fig. 2. The results of the flame retardant tests with the addition of a complex additive after 5 days of CST

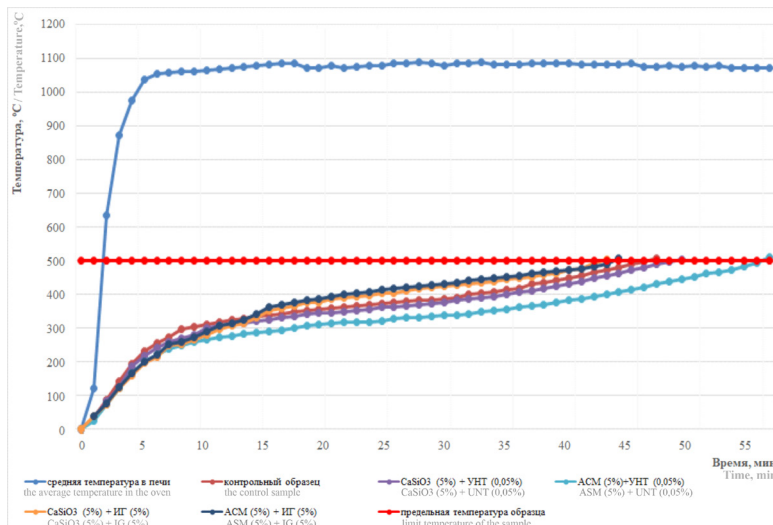


Рис. 3. Результаты испытаний ОЗС с добавлением комплексной добавки после 10 суток КСТ
 Fig. 3. The results of the flame retardant tests with the addition of a complex additive after 10 days of CST

В соответствии с данными испытаний наилучшие результаты по огнезащитной эффективности модифицированных составов до искусственного старения получены при введении 5 % добавки алюмосиликатных микросфер и 0,05 % углеродных нанотрубок — 61 минута, что выше показателя исходного образца на 14,8 %. Анализируемый модифицированный состав после искусственного старения так-

же демонстрирует достойный результат: наблюдается снижение после 1 суток КСТ циклов — на 4,9 %, после 5 суток КСТ — на 8,1 %, после 10 суток КСТ — на 9,8 % по сравнению с данными до искусственного старения.

Установлено, что сочетание интеркалированного графита с кремнийсодержащими компонентами в составе ОЗС имеет неоднозначное влияние (рис. 4).

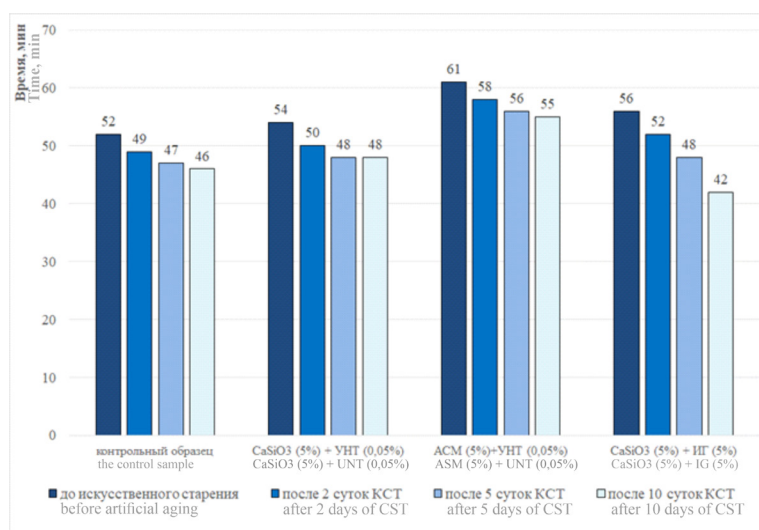


Рис. 4. Результаты огневых испытаний образцов искусственно состаренных покрытий с добавлением комплексной добавки

Fig. 4. Results of fire tests of samples of artificially aged coatings with the addition of a complex additive

С одной стороны, наблюдается увеличение времени сохранения защитных качеств образцов без искусственного старения при добавлении ИГ в сочетании с волластонитом и алюмосиликатными микросферами. С другой стороны, после искусственного старения происходит деградация свойств огнезащиты: если исходный образец после 10 суток в камере соляного тумана сохраняет требуемые характеристики 46 минут, то образцы с ИГ и минеральным компонентом снижают их на 9,5–12,1 % (42 и 41 минуты соответственно). Возможно, положительный эффект достигается именно за счет минеральных компонентов в составе интумесцентной композиции, в то время как

при длительном использовании сокращение огнезащитной эффективности происходит из-за введения интеркалированного графита, который, как было показано выше, увеличивает коэффициент вспучивания покрытия, но одновременно с этим делает термоизолирующий слой неустойчивым и уязвимым с течением времени. Таким образом, добавление ИГ в состав интумесцентной композиции не имеет длительного положительного эффекта: наблюдается снижение огнезащитной эффективности при увеличении срока эксплуатации анализируемого покрытия.

Изменения огнезащитной способности ОЗС с добавлением комплексной добавки

после искусственного старения обозначены на рис. 5. В соответствии с данными диаграммы наименее подвержен потере огнезащитных качеств интумесцентный материал с введением ACM (5 %) и УНТ (0,05 %): при испытаниях после 2 суток КСТ деградация

свойств огнезащиты составила 4,9 %, 5 суток КСТ — 8,2 %, 10 суток КСТ — 9,8 %. Следует отметить, что это самые низкие показатели среди анализируемых составов с добавлением минеральных и углеродсодержащих наполнителей.

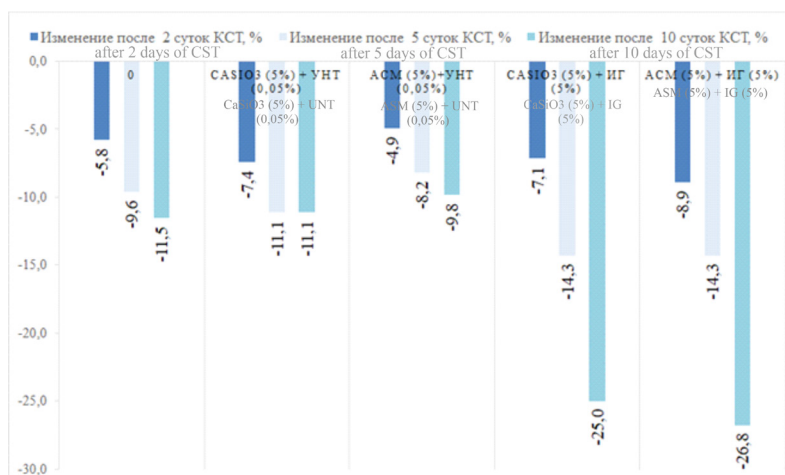


Рис. 5. Изменение огнезащитной способности ОЗС после искусственного старения с добавлением комплексной добавки

Fig. 5. Change in the flame retardant ability of the flame retardant composition after artificial aging with the addition of a complex additive

В случае добавления в ОЗС волластонита и углеродных нанотрубок также очевиден положительный эффект как до проведения испытаний по искусственному старению, так и после. Установлено увеличение времени огнезащитной эффективности при всех исследуемых режимах: после 2 суток воздействия соляного тумана снижение анализируемых показателей составило 7,4 %, в дальнейших исследованиях значения сохранялись и составили 11,1 %. Как говорилось выше, при введении ИГ в состав композиций положительного эффекта не выявлено.

Заключение

При обобщении результатов сравнительного анализа покрытий с добавлением модифицирующих добавок можно сделать вывод, что небольшие количества функциональных

наполнителей могут в значительной мере оказать влияние на огнезащитные свойства анализируемых интумесцентных материалов. На основании ранее проведенных исследований [6–9] было установлено, что наиболее благоприятным образом на защитные свойства ОЗС оказало добавление алюмосиликатных микросфер, волластонита, углеродных нанотрубок, но в достаточно умеренных количествах: 0,05 % для УНТ и 5 % для минеральных компонентов. Однако необходимо отметить, что при сочетании АСМ (5 %) и УНТ (0,05 %) наблюдается результат несколько слабее, чем при введении данных добавок по отдельности. Если при содержании АСМ (5 %) τ_{cp} до искусственного старения составило 64 минуты, а при содержании УНТ (0,05 %) — 66 минут, то при их объединении в тех же пропорциях τ_{cp} снизилось до 61 минуты. Несомненно, это результат удовлетворительный в сравнении

с исходным образцом, но введение одиночной добавки углеродных нанотрубок дает самый высокий результат. Как показали про-

веденные испытания, присутствие интеркалированного графита в составе покрытия положительного эффекта не оказывает.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Gravit M., Shabunina D. Structural Fire Protection of Steel Structures in Arctic Conditions // Buildings. 2021. No. 11 (11). Art. 499. DOI: 10.3390/buildings11110499
2. Пехотиков А. В., Павлов В. В. Средства огнезащиты для стальных конструкций, актуальные вопросы при их применении, оценка технико-эксплуатационных характеристик // Промышленные покрытия. 2015. № 5–6. С. 12–19.
3. Hazard Assessment Studies on Hydrocarbon Fire and Blast: An Overview / M. Imran et al. // Advanced Science Letters. 2017. No. 23. P. 1243–1247. DOI: 10.1166/asl.2017.8349
4. Palazzi E., Fabiano B. Analytical modelling of hydrocarbon pool fires: Conservative evaluation of flame temperature and thermal power // Process Safety and Environmental Protection. 2012. No. 90. P. 121–128. DOI: 10.1016/j.psep.2011.06.009
5. Himoto K., Suzuki K. Computational framework for assessing the fire resilience of buildings using the multi-layer zone model // Reliability Engineering & System Safety. 2021. Vol. 216. Art. 108023. DOI: 10.1016/j.ress.2021.108023
6. Применение методики оценки термостойкости огнезащитных составов интумесцентного типа для условий углеводородного горения на примере составов, модифицированных кремнийсодержащими компонентами / Е. В. Головина [и др.] // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2020. № 4 (19). С. 25–30. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2020.62.87.004
7. Беззапонная О. В., Головина Е. В. Оценка влияния минеральных наполнителей на термостойкость и горючесть огнезащитного состава интумесцентного типа на силиконовой основе // Журнал прикладной химии. 2018. Т. 91, № 1. С. 104–109.
8. Головина Е. В., Беззапонная О. В. Влияние кремнийсодержащих компонентов на термостойкость и снижение горючести огнезащитных составов интумесцентного типа // Проблемы управления рисками в техносфере. 2018. № 2 (46). С. 110–119.
9. Пути совершенствования огнезащитных терморасширяющихся составов для использования на объектах нефтегазового комплекса / О. В. Беззапонная [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2017. Т. 26, № 12. С. 14–24. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.12.14-24
10. ГОСТ Р ЕН 1363-2-2014. Конструкции строительные. Испытания на огнестойкость. Часть 2. Альтернативные и дополнительные методы. М., 2014. 17 с.
11. ГОСТ Р 53295-2009. Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности. М., 2009. 9 с.
12. ГОСТ 9.104-2018. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Группы условий эксплуатации. М., 2019. 11 с.

REFERENCES

1. Gravit M., Shabunina D. Structural Fire Protection of Steel Structures in Arctic Conditions // Buildings. 2021. No. 11 (11). Art. 499. DOI: 10.3390/buildings11110499
2. Pekhotikov A. V., Pavlov V. V. Fire protection products for steel structures, current issues in their application, assessment of technical and operational characteristics // Industrial coatings. 2015. No. 5–6. P. 12–19.
3. Hazard Assessment Studies on Hydrocarbon Fire and Blast: An Overview / M. Imran et al. // Advanced Science Letters. 2017. No. 23. P. 1243–1247. DOI: 10.1166/asl.2017.8349
4. Palazzi E., Fabiano B. Analytical modelling of hydrocarbon pool fires: Conservative evaluation of flame temperature and thermal power // Process Safety and Environmental Protection. 2012. No. 90. P. 121–128. DOI: 10.1016/j.psep.2011.06.009
5. Himoto K., Suzuki K. Computational framework for assessing the fire resilience of buildings using the multi-layer zone model // Reliability Engineering & System Safety. 2021. Vol. 216. Art. 108023. DOI: 10.1016/j.res.2021.108023
6. Application of methods for assessing the thermal resistance of intumescent flame retardants for hydrocarbon combustion conditions using the example of compositions modified with silicon-containing components / E. V. Golovina et al. // Siberian Fire and Rescue Bulletin. 2020. No. 4 (19). P. 25–30. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2020.62.87.004
7. Bezzaponnaya O. V., Golovina E. V. Evaluation of the effect of mineral fillers on the heat resistance and flammability of an intumescent silicone-based flame retardant // Journal of Applied Chemistry. 2018. Vol. 91. No. 1. P. 104–109.
8. Golovina E. V., Bezzaponnaya O. V. Influence of silicon-containing components on heat resistance and reduction of flammability of intumescent flame retardants // Problems of risk management in the technosphere. 2018. No. 2 (46). P. 110–119.
9. Ways to improve flame-retardant thermally expanding compounds for use at oil and gas facilities / O. V. Bezzaponnaya et al. // Fire and explosion safety. 2017. Vol. 26. No. 12. P. 14–24. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.12.14-24
10. GOST R EN 1363-2–2014. Construction structures. Fire resistance tests. Part 2. Alternative and additional methods. Moscow, 2014. 17 p.
11. GOST R 53295–2009. Fire protection products for steel structures. General requirements. A method for determining fire-retardant effectiveness. Moscow, 2009. 9 p.
12. GOST 9.104–2018. A unified system of protection against corrosion and aging. Paint and varnish coatings. Groups of operating conditions. Moscow, 2019. 11 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Головина Екатерина Валерьевна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры надзорной деятельности и права Уральского института ГПС МЧС России (620062, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22); РИНЦ ID: 846886; ORCID: 0000-0002-2999-0752; e-mail: ekaterinagolovina@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Ekaterina V. Golovina, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Supervision and Law, UISFS of EMERCOM of Russia (22 Mira St., Ekaterinburg, 620062, Russian Federation); ID RSCI: 846886; ORCID: 0000-0002-2999-0752; e-mail: ekaterinagolovina@yandex.ru