

Научная статья
УДК 614.84

ОЦЕНКА ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ВОДОРОДНЫХ ЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЙ

✉ Фомин Александр Викторович;

Егоров Андрей Александрович.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉ fomin.a@igps.ru

Аннотация. Разработка инженерно-технических и организационных мероприятий по обеспечению пожарной безопасности водородных заправочных станций основывается на анализе и оценке их пожарной опасности. Физико-химические особенности применения водорода в качестве топлива свидетельствуют о том, что водородная заправочная станция как объект технического регулирования в области пожарной безопасности является взрывопожароопасным. Приведен обзор информации о состоянии противопожарной защиты при эксплуатации водородных заправочных станций в зарубежных странах. Проанализированы наиболее вероятные события, которые могут являться причинами пожароопасных ситуаций при построении сценариев возникновения и развития пожаров на водородных заправочных станциях, влекущих за собой гибель людей.

Для определения периодичности проведения контрольных (надзорных) мероприятий в отношении водородных заправочных станций предлагается рассчитывать показатель тяжести негативных последствий пожаров с учетом критерия вероятности поражения водородной заправочной станции, приводится алгоритм его определения.

Показано, что введение величины пожарной опасности водородной заправочной станции в качестве одного из критериев отнесения объекта защиты к категории риска должно способствовать снижению пожароопасности водородных заправочных станций, размещенных в селитебной зоне городской застройки.

Ключевые слова: водород, заправочная станция, пожарная безопасность, пожарный риск, контрольно-надзорные мероприятия, риск-ориентированный подход

Для цитирования: Фомин А.В., Егоров А.А. Оценка пожарной опасности водородных заправочных станций // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 2 (66). С. 159–166.

Scientific article

DETERMINATION OF THE FIRE HAZARD OF HYDROGEN FILLING STATIONS

✉ Fomin Alexander V.;

Egorov Andrey A.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ fomin.a@igps.ru

Abstract. The development of engineering, technical and organizational measures to ensure the fire safety of hydrogen filling stations is based on the analysis and assessment of their fire hazard. The physicochemical features of the use of hydrogen as a fuel indicate that a hydrogen filling station, as an object of technical regulation in the field of fire safety, is explosive and flammable. An overview of information on the state of fire protection during the operation

of hydrogen filling stations in foreign countries is given. The most probable events that may be the causes of fire-hazardous situations in the construction of scenarios for the occurrence and development of fires at hydrogen filling stations, entailing the death of people, are analyzed.

To determine the frequency of control (supervisory) measures in relation to hydrogen filling stations, it is proposed to calculate the severity of the negative consequences of fires, taking into account the criterion of the probability of damage to a hydrogen filling station, an algorithm for determining it is given.

It is shown that the introduction of the fire hazard value of a hydrogen filling station as one of the criteria for classifying the object of protection as a risk category should contribute to reducing the fire hazard of hydrogen filling stations located in the residential area of urban development.

Keywords: hydrogen, filling station, fire safety, fire risk, control and supervisory measures, risk-oriented approach

For citation: Fomin A.V., Egorov A.A. Determination of the fire hazard of hydrogen filling stations // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 2 (66). P. 159–166.

Введение

Одним из направлений реформы контрольной и надзорной деятельности органов государственного контроля (надзора) и муниципального контроля в стране является внедрение риск-ориентированного подхода при планировании и проведении контрольных (надзорных) мероприятий в отношении контролируемых лиц [1].

Риск-ориентированный подход контрольной и надзорной деятельности представляет собой методологию, обеспечивающую целевое воздействие надзорных функций на объекты защиты, основанные на анализе состояния технических устройств, риска их аварий и инцидентов в соответствии со значимостью последствий таких аварий и инцидентов для безопасности населения.

Риск-ориентированный подход в деятельности надзорных органов МЧС России при осуществлении федерального государственного пожарного надзора заключается в отнесении объекта защиты к определенной категории риска на основе расчета рисков негативных последствий пожаров для объектов защиты, однородных по виду экономической деятельности и классам функциональной пожарной опасности [2, 3].

Определение категории риска должно осуществляться в отношении объектов водородной промышленности, а именно водородных заправочных станций (ВЗС), которые предназначены для дозированной подачи водорода потребителю, включающих в себя стационарное оборудование для производства, сжатия, хранения и раздачи водорода, используемого в качестве топлива для наземных транспортных средств.

Для оценки соответствия ВЗС требованиям пожарной безопасности проверяются условия их выполнения, содержащиеся в нормативных документах по пожарной безопасности (национальные стандарты, своды правил, а также иные содержащие требования пожарной безопасности документы, которые включены в перечень документов по стандартизации), или определяются расчетные величины пожарного риска, не превышающие установленных допустимых значений [4].

Аналитическая часть

Исследование вопроса применения риск-ориентированного подхода на водородных заправочных станциях осуществлялось с использованием аксиоматического метода, моделирования и сравнения.

Перспективным направлением государственной энергетической политики является развитие альтернативных источников энергии, одним из которых является водород [5].

В области развития водородной промышленности перспективным направлением является создание ВЗС. Законодательством о техническом регулировании в области пожарной безопасности установлено, что мерой возможности реализации пожарной опасности объекта защиты и ее последствий для людей и материальных ценностей является пожарный риск [6]. При расчете риска ВЗС существует проблема, связанная с отсутствием нормативных требований по обеспечению их пожарной безопасности.

В ряде зарубежных стран осуществляется строительство новых объектов, а также разработка нормативно-технических актов в области водородной промышленности. Например, в Японии в 2003 г. компанией Osaka Gas построена масштабная модель ВЗС для проведения испытаний в случае возникновения аварии. Результатами этих экспериментов руководствовало правительство Японии при создании технических актов в области энергетики [7].

В США строительство ВЗС является приоритетным направлением развития водородной промышленности и осуществляется на федеральном уровне и на уровне штатов. На общегосударственном уровне существуют технические акты, регулирующие обеспечение пожарной безопасности, разрабатываемые Национальной ассоциацией противопожарной защиты (NFPA). В частности, в 2016 г. разработан стандарт NFPA-2 «Technical Committee on Hydrogen Technologies», в задачи которого входит разработка рекомендаций и актов, направленная на обеспечение пожарной безопасности объектов водородной промышленности, в частности ВЗС [8–10].

В Российской Федерации развитие водородной промышленности осуществляется в соответствии с положениями Концепции развития водородной энергетики в Российской Федерации (Концепция), которая предусматривает внедрение и применение ВЗС, а также создание необходимой для этого инфраструктуры [11]. Концепция предусматривает три этапа создания водородной промышленности и обеспечение ее безопасности в период с 2021 по 2050 г., что аналогично с программами развития зарубежных стран. Одной из проблем развития водородной энергетики в Российской Федерации является отсутствие нормативной правовой базы в области обеспечения пожарной безопасности объектов водородной промышленности, регламентация материалов, обеспечивающих целостность объектов.

Вследствие отсутствия нормативно-правовых актов и методов по оценке пожарного риска ВЗС предлагается провести расчеты риска причинения вреда (ущерба) для определения периодичности проведения контрольных (надзорных) мероприятий сотрудниками органов государственного пожарного надзора (органы ГПН).

ВЗС – промышленный объект, особенности которого заключаются в обслуживании и хранении водорода, включающий в себя комплекс сооружений, предназначенный для заправки транспортных средств водородом через топливораздаточные колонки.

Вследствие возникновения на ВЗС взрывопожароопасных ситуаций, таких как утечка водорода, предлагается произвести расчет теплового потока [12]. Это необходимо учитывать, так как ВЗС будет располагаться в селитебной зоне городской застройки, что подразумевает наличие людей на территории ВЗС и прилегающей территории, которые при возникновении иницилирующего события могут оказаться пострадавшими.

При утечке водорода, взрыва и последующего развития пожара определяется интенсивность теплового излучения при горении твердых материалов. Это связано с тем, что резервуар и элементы топливораздаточной колонки, состоящие из металлов, являются составной частью ВЗС. Сценарии возникновения развития аварийных ситуаций имеют следующие особенности:

- при разгерметизации технологического оборудования возможен выход газовой фазы водорода;
- воспламенение паровоздушного облака может привести к образованию ударной волны, способной разрушать окружающие объекты;
- взрыв с образованием «огненного шара».

Возникновению этих сценариев способствует утечка водорода. Расчет утечки водорода осуществляется, исходя из способов его хранения в специальных резервуарах под высоким давлением, что накладывает серьезные ограничения на их конструктивные характеристики. При возникновении пожароопасной ситуации в виде истечения водорода в окислительную среду возможно не только серьезное повреждение конструкций, но и его последующее самовоспламенение даже в отсутствии источников огня [13].

Для расчета утечки водорода следует учитывать его размещение в специальном резервуаре в газообразном состоянии.

Определение опасности самовоспламенения водорода при его истечении в окислительную среду является важной задачей. Процессы утечки горючего газа могут произойти при выбросе газа из резервуаров или трубопроводов [14].

Рассмотрим ситуацию, когда на ВЗС в одном из резервуаров с хранением газообразного водорода произошло охрупчивание металла, в результате чего произошла утечка в виде струи газа. При утечке водорода в окружающую среду возникает ударная волна, энергия движения газа которой преобразуется в тепловую посредством смешивания с воздухом. Например, при утечке водорода в окружающую среду возможно возникновение взрывной волны, которая в пять раз превышает скорость звука. На поверхности будет наблюдаться сильная турбулентность, что влияет на смесь истекающего холодного газа с горячим газом за ударной волной. При разгерметизации резервуара под высоким давлением или срабатывании клапана сброса давления может произойти возгорание водорода с последующим взрывом. При смешении водорода с воздухом возникает смесь, называемая гремучим газом, которая при воспламенении может привести к взрыву. Самовоспламенение и дальнейший взрыв могут произойти при условии, что время пребывания смеси при высокой температуре достаточно для ускорения реакции [15].

Ярким примером является авария на водородной заправочной станции в г. Сандвик (Норвегия), где 10 июня 2019 г. произошел взрыв с последующим пожаром. При этом пострадали два человека, которые находились на значительном расстоянии. Расследованием происшествия установлено, что причиной пожара стало нарушение правил эксплуатации объекта: «из-за человеческой ошибки внутренние болты заглушки не были затянуты должным образом», что повлекло в накопителе образование высокого давления и утечки водорода с последующим взрывом [16].

Расчет расхода водорода из резервуара осуществлялся в соответствии с методикой определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах. При дальнейшем процессе утечки и воспламенения водорода следует рассматривать последствия в виде теплового потока, возникшего вследствие взрыва резервуара на ВЗС. Данные расчеты могут быть унифицированы при составлении сценариев наступления взрывопожароопасной ситуации.

Одним из факторов, влияющих на проведение расчетов по оценке пожарного риска ВЗС, является количество пострадавших, находящихся в зоне аварии.

Для определения категории риска ВЗС рекомендуется рассчитать значение величины поражения ВЗС, исходя из массового расхода водорода из резервуара (G), что является взрывопожароопасной ситуацией. Если происходит утечка, то могут возникнуть сценарии, основное различие которых будет заключаться в диаметре отверстий, через которые будет истекать водород.

При сверхкритическом истечении массовый расход будет определяться по формуле:

$$\text{при } \frac{P_a}{P_V} < \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\gamma/(\gamma-1)} ;$$

$$G = A \cdot h_{ol} * \mu \left[P_V * \rho_V * \gamma \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{(\gamma+1)/(\gamma-1)} \right]^{1/2} ,$$

где G – массовый расход, кг/с; P_a – атмосферное давление, Па; P_V – давление газа в резервуаре, Па; γ – показатель адиабаты газа; A_{hol} – площадь отверстия, м²; μ – коэффициент истечения (при отсутствии данных допускается принимать равным 0,8); ρ_V – плотность газа в резервуаре при давлении P_V , кг/м³.

В этом случае γ – показатель адиабаты H_2 следует принимать при нормальных условиях равным 1,41 [17].

На основе частоты разгерметизации резервуара определяется вероятность наступления события, а именно взрыва. Это связано с реакцией водорода с воздухом, а также повышенной взрывопожароопасностью, которая определяется по формуле:

$$L = G \left(\frac{R_3 D_s}{100} \right),$$

где G – массовый расход водорода, кг/с; R_3 – радиус взрыва, м; D_s – диаметр огненного шара, м.

Радиус взрыва рассчитывается по методике определения пострадавших в зоне чрезвычайной ситуации [18]. Диаметр огненного шара устанавливается при расчете интенсивности теплового излучения при горении твердых материалов.

Значение величины поражения ВЗС (R_b) рассчитывается по формуле:

$$R_b = \frac{t}{N} \left(\frac{2R_3}{tL} N_i \right),$$

где t – анализируемый период времени; N – количество объектов защиты в стране; R_3 – радиус взрыва; L – вероятность наступления события чрезвычайной ситуации; N_i – количество пострадавших в селитебной зоне в результате воздействия опасных факторов пожара, взрыва на ВЗС.

Показатель тяжести негативных последствий пожаров при отнесении ВЗС к соответствующей категории риска предлагается дополнить величиной поражения ВЗС, значение которой будет учитываться органами ГПН при определении периодичности проведения плановых контрольных (надзорных) мероприятий при осуществлении федерального ГПН в отношении ВЗС.

Введение величины поражения ВЗС (R_b) объясняется необходимостью повышения уровня их пожарной безопасности с учетом особенностей физико-химических свойств водорода и конструктивными характеристиками заправочной станции. Данные показатели для определения категории пожарного риска ВЗС рекомендуется ввести в качестве одного из критериев добросовестности, характеризующих вероятность несоблюдения на объекте защиты обязательных требований пожарной безопасности [19]. Величина поражения ВЗС будет являться значением, учитываемым при расчете индекса индивидуализации объекта защиты, который окажет влияние на определение сотрудниками органов ГПН периодичности проведения плановых контрольных (надзорных) мероприятий при осуществлении федерального ГПН в отношении ВЗС.

Заключение

Величина поражения ВЗС обеспечивает объективизацию значения показателя тяжести негативных последствий пожаров на ВЗС при их отнесении к соответствующей категории риска для определения периодичности проведения плановых контрольно-надзорных мероприятий надзорными органами МЧС России при осуществлении федерального ГПН.

Показатель тяжести негативных последствий пожара на ВЗС с учетом величины ее поражения, который является одним из критериев добросовестности причинения ущерба (вреда) на производственном объекте, характеризующий вероятность несоблюдения на объекте защиты обязательных требований пожарной безопасности, позволит определить категорию пожарного риска для периодичности проведения плановых контрольных (надзорных) мероприятий.

Список источников

1. О применении риск-ориентированного подхода при организации отдельных видов государственного контроля (надзора): постановление Правительства Российской Федерации от 17 авг. 2016 г. № 806. URL: <https://base.garant.ru/71473944/> (дата обращения: 06.12.2022).
2. Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации: постановление Правительства Российской Федерации от 16 сент. 2020 г. № 1479. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565837297> (дата обращения: 15.02.2023).
3. О Федеральном государственном пожарном надзоре: постановление Правительства Российской Федерации от 12 апр. 2012 г. № 290. URL: <https://base.garant.ru/70161266/> (дата обращения: 15.11.2022).
4. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/ (дата обращения: 29.03.2023).
5. Фомин А.В., Егоров А.А., Борисова В.А. Обеспечение пожарной безопасности водородных заправок станций // Вестник университета гражданской защиты МЧС Беларуси. 2022. Т. 6. № 3. С. 305–311.
6. ISO/TS 20100:2008. Gaseous hydrogen – Fuelling stations. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200103135> (дата обращения: 15.11.2022).
7. Использование водорода изменяет структуру энергетики. URL: <https://www.nippon.com/ru/currents/d00167/> (дата обращения: 05.02.2023).
8. Hydrogen law and regulation in the US. URL: <https://cms.law/en/int/expert-guides/cms-expert-guide-to-hydrogen/united-states-of-america> (дата обращения: 05.02.2023).
9. NFPA-2 «Technical Committee on Hydrogen Technologies». URL: https://www.nfpa.org/assets/files/AboutTheCodes/2/2_A2020_HYD_AAA_FD_mins_10_20.pdf (дата обращения: 12.02.2023).
10. US hydrogen road map. URL: <https://www.fchea.org/us-hydrogen-study> (дата обращения: 12.02.2023).
11. Концепция развития водородной энергетики в Российской Федерации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/608226547> (дата обращения: 21.02.2023).
12. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200071156> (дата обращения: 29.12.2022).
13. Александрова Д.М. Анализ условий самовоспламенения сжатого водорода // Молодой ученый. 2019. № 21 (259). С. 83–89.
14. Ударно-волновой механизм самовоспламенения водорода при внезапном истечении из резервуара под высоким давлением / Т.В. Баженова [и др.] // Теплофизика высоких температур. 2007. Т. 5. № 5. С. 665–672.
15. Jing X., Chongfu H. Fire risk analysis of residential buildings based on scenario clusters and its application in fire risk management // Fire safety journal. Special issue on spatial analytical approaches in urban fire management. 2013. Vol. 62. Part A. P. 72–78. DOI: 10.1016/j.firesaf.2013.09.022.
16. Hydrogen fuel editorial station explodes in Norway. URL: <https://www.carsales.com.au/details/hydrogen-fuel-station-explodes-in-norway-118954/> (дата обращения: 21.01.2023).
17. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: приказ МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902170886> (дата обращения: 21.12.2022).
18. Методические рекомендации по определению количества пострадавших при чрезвычайных ситуациях от 1 сент. 2007 г. № 1-4-60-9-9. (утв. Первым заместителем Министра Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и

ликвидации последствий стихийных бедствий Р.Х. Цаликовым). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

19. О внесении изменений в Положение о федеральном государственном пожарном надзоре: постановление Правительства Российской Федерации от 12 нояб. 2020 г. № 1662 г. URL: <https://base.garant.ru/74758302/> (дата обращения: 21.12.2022).

References

1. O primeneniі risk-orientirovannogo podhoda pri organizacii otel'nyh vidov gosudarstvennogo kontrolya (nadzora): postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 17 avg. 2016 g. № 806. URL: <https://base.garant.ru/71473944/> (data obrashcheniya: 06.12.2022).

2. Ob utverzhenii Pravil protivopozharnogo rezhima v Rossijskoj Federacii: postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 16 sent. 2020 g. № 1479. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565837297> (data obrashcheniya: 15.02.2023).

3. O Federal'nom gosudarstvennom pozharnom nadzore: postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 12 apr. 2012 g. № 290. URL: <https://base.garant.ru/70161266/> (data obrashcheniya: 15.11.2022).

4. Tekhnicheskij reglament o trebovaniyah pozharnoj bezopasnosti: Federal'nyj zakon ot 22 iyulya 2008 g. № 123-FZ. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/ (data obrashcheniya: 29.03.2023).

5. Fomin A.V., Egorov A.A., Borisova V.A. Obespechenie pozharnoj bezopasnosti vodorodnyh zapravochnykh stancij // Vestnik universiteta grazhdanskoj zashchity MCHS Belarusi. 2022. T. 6. № 3. S. 305–311.

6. ISO/TS 20100:2008. Gaseous hydrogen – Fuelling stations. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200103135> (data obrashcheniya: 15.11.2022).

7. Ispol'zovanie vodoroda izmenyaet strukturu energetiki. URL: <https://www.nippon.com/ru/currents/d00167/> (data obrashcheniya: 05.02.2023).

8. Hydrogen law and regulation in the US. URL: <https://cms.law/en/int/expert-guides/cms-expert-guide-to-hydrogen/united-states-of-america> (data obrashcheniya: 05.02.2023).

9. NFPA-2 «Technical Committee on Hydrogen Technologies». URL: https://www.nfpa.org/assets/files/AboutTheCodes/2/2_A2020_HYD_AAA_FD_mins_10_20.pdf (data obrashcheniya: 12.02.2023).

10. US hydrogen road map. URL: <https://www.fchea.org/us-hydrogen-study> (data obrashcheniya: 12.02.2023).

11. Koncepciya razvitiya vodorodnoj energetiki v Rossijskoj Federacii. URL: <https://docs.cntd.ru/document/608226547> (data obrashcheniya: 21.02.2023).

12. SP 12.13130.2009. Opredelenie kategorij pomeshchenij, zdaniy i naruzhnykh ustanovok po vzryvopozharnoj i pozharnoj opasnosti. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200071156> (data obrashcheniya: 29.12.2022).

13. Aleksandrova D.M. Analiz uslovij samovosplamneniya szhatogo vodoroda // Molodoj uchenyj. 2019. № 21 (259). S. 83–89.

14. Udarno-volnovoj mekhanizm samovosplamneniya vodoroda pri vnezapnom istechenii iz rezervuara pod vysokim davleniem / T.V. Bazhenova [i dr.] // Teplofizika vysokih temperatur. 2007. T. 5. № 5. S. 665–672.

15. Jing X., Chongfu H. Fire risk analysis of residential buildings based on scenario clusters and its application in fire risk management // Fire safety journal. Special issue on spatial analytical approaches in urban fire management. 2013. Vol. 62. Part A. P. 72–78. DOI: 10.1016/j.firesaf.2013.09.022.

16. Hydrogen fuel editorial station explodes in Norway. URL: <https://www.carsales.com.au/details/hydrogen-fuel-station-explodes-in-norway-118954/> (data obrashcheniya: 21.01.2023).

17. Ob utverzhdenii metodiki opredeleniya raschetnyh velichin pozharnogo riska na proizvodstvennyh ob"ektah: prikaz MCHS Rossii ot 10 iyulya 2009 g. № 404. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902170886> (data obrashcheniya: 21.12.2022).

18. Metodicheskie rekomendacii po opredeleniyu kolichestva postradavshih pri chrezvychajnyh situacijah ot 1 sent. 2007 g. № 1-4-60-9-9. (utv. Pervym zamestitelem Ministra Rossijskoj Federacii po delam grazhdanskoj oborony, chrezvychajnym situacijam i likvidacii posledstvij stihijnyh bedstvij R.H. Calikovym). Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».

19. O vnesenii izmenenij v Polozhenie o federal'nom gosudarstvennom pozharnom nadzore: postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 12 noyab. 2020 g. № 1662 g. URL: <https://base.garant.ru/74758302/> (data obrashcheniya: 21.12.2022).

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 09.02.2023; одобрена после рецензирования: 26.05.2023; принята к публикации: 08.06.2023

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 09.02.2022; approved after review: 26.05.2023; accepted for publication: 08.06.2023

Информация об авторах:

Фомин Александр Викторович, профессор кафедры надзорной деятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, профессор, e-mail: fomin.a@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6093-1446>

Егоров Андрей Александрович, адъюнкт кафедры надзорной деятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: andreey-e@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2495-3829>

Information about authors:

Fomin Alexander V., professor of the department of supervisory activities of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, professor, e-mail: fomin.a@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6093-1446>

Egorov Andrey A., adjunct of the department of supervisory activities of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: andreey-e@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2495-3829>