

# СНИЖЕНИЕ РИСКОВ И ЛИКВИДАЦИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЧС

---

---

Научная статья

УДК 656.13(1-21):621.43.06:504.3.064

## ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ 4–5 ПОКОЛЕНИЙ

Гавкалюк Богдан Васильевич;

✉ Ложкин Владимир Николаевич;

Смирнов Алексей Сергеевич.

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

✉ [vnlojkin@yandex.ru](mailto:vnlojkin@yandex.ru)

*Аннотация.* В новейшей истории вступления Российской Федерации в глобальную мировую экономику, начиная с 2006 г., парк пожарных автомобилей стал заметно пополняться машинами, силовые установки которых оснащены оборудованием обеспечения их конструктивной безопасности 4–5 поколений: «common rail system», «CRT system», «SCR system». Как показали выполненные исследования, в условиях реагирования на чрезвычайные ситуации эти системы обладают повышенным риском отказов, приводящих к нарушениям работоспособности и пожарной безопасности силовых установок. В статье описываются теоретические и прикладные вопросы поддержки работоспособности силовых установок путем диагностирования и устранения отказов оборудования 4–5 технологических поколений в условиях реальной эксплуатации пожарных автомобилей.

*Ключевые слова:* пожарный автомобиль, силовая установка, комплексная безопасность, чрезвычайная ситуация, отказ, диагностика

**Для цитирования:** Гавкалюк Б.В., Ложкин В.Н., Смирнов А.С. Теория и практика обеспечения безопасности применения в условиях чрезвычайных ситуаций силовых установок пожарных автомобилей 4–5 поколений // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 2 (66). С. 8–15.

Scientific article

## THEORY AND PRACTICE OF ENSURING THE SAFETY OF THE USE OF POWER PLANTS OF FIRE TRUCKS OF 4–5 GENERATIONS IN EMERGENCY SITUATIONS

Gavkalyuk Bogdan V.;

✉ Lozhkin Vladimir N.;

Smirnov Aleksey S.

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

✉ vnlojkin@yandex.ru

*Abstract.* In the recent history of the entry of the Russian Federation into the global world economy, starting from 2006, the fleet of fire trucks began to noticeably replenish with vehicles whose power plants are equipped with equipment to ensure their constructive safety of 4–5 generations: «common rail system», «CRT system», «SCR system». As studies have shown, in emergency response conditions, these systems have an increased risk of failures, leading to disruptions in the performance and fire safety of power plants. The article describes the theoretical and applied issues of supporting the performance of power plants by diagnosing and eliminating equipment failures of 4–5 technological generations in the conditions of actual operation of fire trucks.

*Keywords:* fire truck, power plant, integrated safety, emergency, failure, diagnostics

**For citation:** Gavkalyuk B.V., Lozhkin V.N., Smirnov A.S. Theory and practice of ensuring the safety of the use of power plants of fire trucks of 4–5 generations in emergency situations // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 2 (66). P. 8–15.

### Введение. Состояние проблемы

К силовым установкам эксплуатируемого парка пожарных автомобилей (ПА) [1] сегодня предъявляются требования многорежимности, например, при тушении затяжных пожаров [2], многотопливной функциональности [3], декарбонизации [4], санитарной (токсичность и дымность [5–8]) и пожарной безопасности [3] организации рабочего процесса. Следуя удовлетворению этим актуальным требованиям, в гарнизонах МЧС России стали появляться ПА с двигателями отечественных и зарубежных производителей, оборудованных «*common rail system*» (аккумуляторные системы высокого и сверх высокого [9] постоянного давления впрыскивания топлива), «*CRT system*» (системы окислительного катализа с фильтрацией сажи), «*SCR system*» (системы селективной каталитической очистки ОГ от NO<sub>x</sub>) [8]. Таких ПА больше в столичных регионах и на территориях целевого инвестиционного развития Российской Федерации, очень мало в некоторых отдаленных «глубинных» районах Российской Федерации, а в среднем по регионам Российской Федерации пока недостаточно, чтобы надежно обеспечить комплексную безопасность ПА по показателям профилактической медицины (санитарно-гигиеническим – оксида углерода (CO), углеводородов (CH), NO<sub>x</sub>, бензо(α)пирена, PM<sub>2,5</sub> и пожарно-техническим свойствам) применения ПА в условиях чрезвычайных ситуаций (ЧС) (рис. 1).

В то же время из зарубежного опыта можно достоверно заключить, что отечественные производители, опираясь на упомянутые технологии 4–5 уровня безопасности и новейшие разработки [1, 9–12], будут в ближайшей перспективе радикально обновлять эксплуатируемый парк ПА (рис. 2) для условий ЧС [1, 3].

Применение на силовых установках ПА специализированного оборудования 4–5 классов безопасности потребует и использования топлива соответствующего качества, что в условиях реальной эксплуатации не всегда удастся обеспечить.

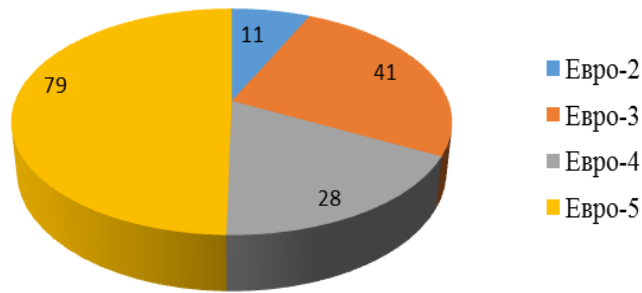


Рис. 1. Распределение дизельных силовых установок ПА Красноярского края, сертифицированных по классу безопасности (в шт.) на 2020 г. [8]

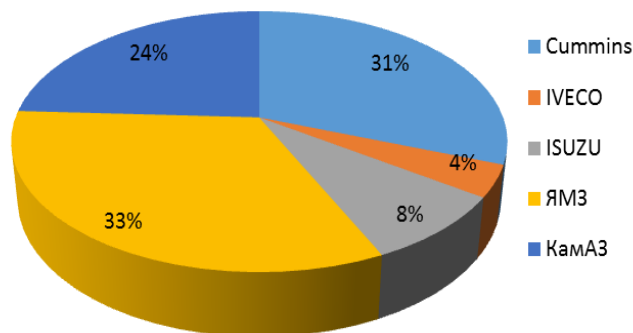


Рис. 2. Распределение дизельных силовых установок всех ПА Красноярского края производства после 2006 г. по производителю (в %) на 2020 г. [10]

По этим причинам на автомобилях гражданского назначения, применение на которых оборудования 4–5 классов безопасности приняло массовый характер, за последние 15 лет участились воспламенения нейтрализаторов, поскольку в случае, например, отказов прецизионной топливной аппаратуры (рис. 3 а – коррозионное разрушение деталей) экзотермический процесс окислительного катализа в реакторе нейтрализатора может стать неуправляемым (рис. 3 б).

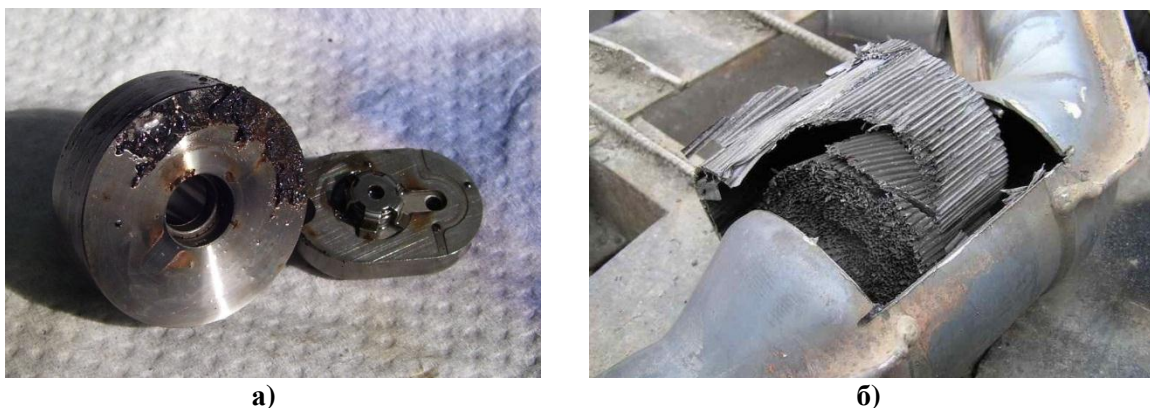


Рис. 3. Визуализация: а) – коррозии корпуса гильзы топливного насоса высокого давления и всасывающего клапана по причине повышенного содержания в топливе серы; б) – оплавленного каталитического блока из-за отказа топливной аппаратуры

В настоящей работе приводятся авторские теоретические исследования кинетической природы возникновения нештатного неуправляемого экзотермического процесса окислительного катализа в нейтрализаторе силовой установки ПА [12] из-за отказов в топливных системах двигателя и практические рекомендации по методике обнаружения (диагностирования) предаварийного режима работы этих систем [3].

### Методика и результаты исследования

Теоретические исследования вероятности возникновения неуправляемого процесса катализа выполнялись путем постановки численного (виртуального) эксперимента с использованием ранее разработанной авторами математической модели гетерогенного окислительного катализа [3] и данных стендовых испытаний опытного образца каталитического нейтрализатора отработавших газов (ОГ) – глушителя шума их выпуска в атмосферу [12]. Предварительно, в связи с ожидаемым широким диапазоном изменения температуры ОГ для реальных условий эксплуатации силовой установки ПА (от 50–100 °С до 650 °С) была принята близкая к достоверной гипотеза ожидания вероятности протекания результирующего физико-химического процесса гетерогенного катализа по предельному механизму, который произошел из-за переобогащения горючей смеси.

Переобогащение топливовоздушной смеси в цилиндрах возможно при таких аварийных отказах двигателя, как, например, «зависание» иглы распылителя форсунки или поршневых колец. В первом случае возможны «подвпрыски» со струйным истечением топлива через сопловые отверстия распылителя, во втором – прорыв из картера в цилиндр масляной взвеси. Процесс каталитического окисления несгоревшей в цилиндрах переобогащенной топливовоздушной смеси будет происходить в порах тонкого слоя (0,02–0,04 мм) катализатора (рис. 4) по механизму [12].

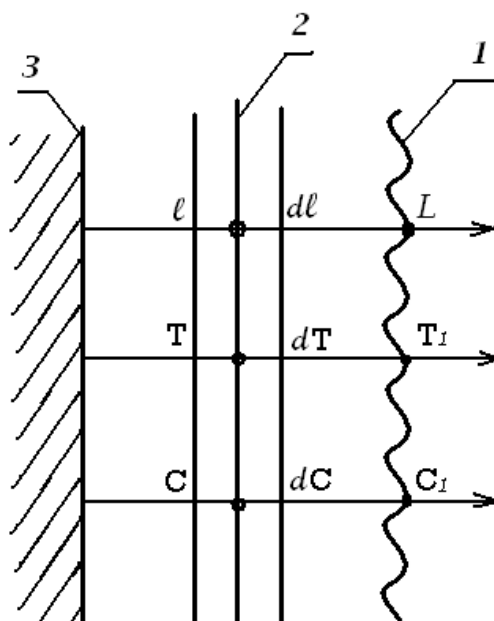


Рис. 4. Схема слоя пористого носителя  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  катализатора Pt для расчета тепловыделения при окислении CO, CH и  $\text{PM}_{2,5}$  в нейтрализаторе:

1 – внешняя поверхность пористого слоя  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ; 2 – расчетная поверхность внутри слоя; 3 – внутренняя поверхность «сотового» канала нейтрализатора

$$\left(\frac{dM}{dt}\right) = \left[\left(\frac{Nu_D \cdot D}{d_{\text{ЭКВ}}}\sqrt{D_{\text{ЭФ}} \cdot k'}\right) / \left(\frac{Nu_D \cdot D}{d_{\text{ЭКВ}}} + \sqrt{D_{\text{ЭФ}} \cdot k'}\right)\right] \cdot C_0,$$

где  $dM/dt$  – скорость кинетики процесса катализа;  $Nu_D$  – безразмерный диффузионный показатель Нуссельта;  $D$  – расчетное значение числа, характеризующего диффузию ОГ внутри ячейки блока,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $d_{\text{ЭКВ}}$  – приведенный к условной площади, диаметр сечения ячейки блока,  $\text{м}$ ;  $D_{\text{ЭФ}}$  – расчетное значение числа, характеризующего диффузию ОГ внутри пористого слоя  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{м}^2/\text{с}$ , рассчитываемое по уравнению:

$$dC/dt = D_{\text{ЭФ}} \cdot \Delta C - W'(C),$$

где  $C$  – концентрация вещества ОГ, участвующего в каталитической реакции внутри слоя  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  катализатора (сечение 2, рис. 4),  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\Delta$  – функция (оператор) Лапласа;  $W'(c)$  – скорость химической реакции в порах катализатора  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ .

$$W'(c) = k'c^n,$$

где  $k'$  – константа «псевдообъемной» гомогенной реакции в порах катализатора  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{с}^{-1}$ ;

$$k' = k \cdot S_v,$$

где  $S_v$  – приведенная к глубине «проникновения» каталитической реакции в слой  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ , внутренняя поверхность пор,  $\text{м}^2/\text{м}^3$ ,  $k$  – константа гомогенной реакции в слое  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{с}^{-1}$ , рассчитанная по уравнению Аррениуса («истинное» значение скорости реакции по определению в работе [12]);  $n$  – число указывает на порядок химической реакции катализа по уравнению Аррениуса.

Предполагаем, что скорость выше описанного результирующего физико-химического процесса и обусловленного им выделения тепла в слое  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  при аварийном режиме эксплуатации топливной аппаратуры приводят через избыточное образование и интенсивное окисление СО, СН, частиц сажи  $\text{PM}_{2,5}$  к неуправляемому пожарно-опасному разогреву каталитического нейтрализатора (КН), описанному в работе [13]. В авторской работе [14] приведены результаты экспериментально-расчетного исследования выхода в аварийный пожарно-опасный разогрев КН оригинальной конструкции применительно к двигателю ПА КАМАЗ. Исследования [14] подтвердили вероятность роста мощности тепловыделения в сравнении с нормальным режимом эксплуатации КН в 15,5 раза – до 491 907,3 кДж/ч.

Авторами разработаны инструментальные методы технического диагностирования пожарно-аварийных и экологически опасных режимов эксплуатации силовых установок пожарной и аварийно-спасательной техники МЧС России в эксплуатации [3]. Диагностирование бензиновых и газобаллонных двигателей рекомендуется производить безразборным способом по анализу содержания в ОГ СО, суммы газообразных СН и контролю значений коэффициента избыточного содержания в топливно-воздушной смеси воздуха ( $\lambda$ ) [3]. Пожарную безопасность работы каталитических фильтров-накопителей твердых частиц сажи рекомендуется инструментально контролировать безразборным методом путем измерения дымности ОГ на двух режимах холостых ходов двигателя, соответствующих максимальной частоте вращения коленчатого вала и свободного ускорения [3].

### Заключение

Проведенным исследованием установлено, что силовые установки пожарных и аварийно-спасательных машин, полностью обеспечивая в эксплуатации доставку на место ЧС личного состава и работу специализированного приводного оборудования, наносят ОГ экологический

урон. Компенсация урона оснащением силовых установок оборудованием 4–5 технологических поколений «*common rail system*», «*CRT system*», «*SCR system*» предполагает использование каталитических систем, которые при отказах топливной аппаратуры переходят в неуправляемый пожароопасный аварийный режим эксплуатации с 10-кратным и более повышением тепловой производительности реактора. Авторами на основе получения новых знаний о кинетике процесса окислительного катализа разработаны и предложены оригинальные методы безразборной диагностики отказов в работе данного оборудования по контролю CO, CH<sub>4</sub>, λ на бензиновых и газобаллонных силовых установках и дымности в режиме свободного ускорения – дизельных. Внедрение методов в подразделениях МЧС России показало их высокую превентивную экологическую и пожарно-техническую эффективность.

### Список источников

1. Этапы и направления создания и производства пожарных автомобилей в современной России / В.И. Логинов [и др.] // Пожарная безопасность. 2021. № 2 (97). С. 51–59.
2. Fann N., Alman B., Broome R.A. The health impacts and economic value of wildland fire episodes in the U.S.: 2008–2012 // *Sci. Total Environ.* 2018. Vol. 610–611. P. 802–809. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.024.
3. Гавкалюк Б.В., Ложкин В.Н. О научно-технической стратегии улучшения экологических характеристик пожарных автомобилей на современном этапе // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 4 (64). С. 73–79.
4. Wael K. Al-Delaimy and others health of people, health of planet and our responsibility. Climate change, air Pollution and health // eBook, Springer. XXIII. 2020. 417 s. DOI: 10.1007/978-3-030-31125-4.
5. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году: гос. доклад Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации. URL: <https://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/821/%D0%93%D0%94-2018.pdf> (дата обращения: 19.02.2023).
6. О внесении изменений в Правила применения обязательных требований в отношении отдельных колесных транспортных средств и проведения оценки их соответствия: постановление Правительства Рос. Федерации от 15 июня 2022 г. № 1269 // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/> (дата обращения: 19.02.2023).
7. Wik C. Tier III technology development and its influence on ship installation and operation // CIMAC Congress. 2013. № 159. 11 p.
8. Reported prevalence of health conditions that affect drivers / F. Alonso [et al.] // *Cogent Medicine.* 2017. Vol. 4. DOI: 10.1080/2331205X.2017.1303920.
9. An experimental study of a very high-pressure diesel injector (up to 5000 bar) by means of optical diagnostics / W. Vera-Tudela [et al.] // *Fuel.* 2020. Vol. 275. ID 117933.
10. Сацук И.В. Закономерности распределения и технического состояния эксплуатируемых пожарных автомобилей по показателям конструктивной безопасности силовых установок // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2022. № 2. С. 31–38. DOI: 10.34987/vestnik.
11. Применение интегрированного расчетно-экспериментального комплекса для разработки и доводки рабочих процессов дизеля с аккумуляторной топливной системой / А.Ю. Дунин [и др.] // *Двигателестроение.* 2022. № 1 (287). С. 32–44.
12. Lozhkin V.N., Lozhkina O.V. Catalytic converter with storage device of exhaust gas heat for city bus // *Transportation research procedia.* 2017. Vol. 20. P. 412–417. DOI: 10.1016/j.trpro.2017.01.067.
13. Tsukasa Azuma. What are the bad catalytic converter symptoms? // *Car from Japan.* 2020. № 31. URL: <https://carfromjapan.com/article/car-maintenance/bad-catalytic-converter-symptoms/> (дата обращения: 04.02.2023).

14. Ложкин В.Н., Онищенко И.А., Ложкина О.В. Расчетное исследование пожароопасных режимов работы каталитических нейтрализаторов в условиях Арктики // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России». 2016. № 3. С. 7–16.

### References

1. Etapy i napravleniya sozdaniya i proizvodstva pozharnyh avtomobilej v sovremennoj Rossii / V.I. Loginov [i dr.] // Pozharnaya bezopasnost'. 2021. № 2 (97). S. 51–59.
2. Fann N., Alman B., Broome R.A. The health impacts and economic value of wildland fire episodes in the U.S.: 2008–2012 // Sci. Total Environ. 2018. Vol. 610–611. P. 802–809. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.024.
3. Gavkalyuk B.V., Lozhkin V.N. O nauchno-tehnicheskoy strategii uluchsheniya ekologicheskikharakteristik pozharnyh avtomobilej na sovremennom etape // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2022. № 4 (64). S. 73–79.
4. Wael K. Al-Delaimy and others health of people, health of planet and our responsibility. Climate change, air Pollution and health // eBook, Springer. XXIII. 2020. 417 s. DOI: 10.1007/978-3-030-31125-4.
5. O sostoyanii i ob ohrane okruzhayushchej sredy Rossijskoj Federacii v 2018 godu: gos. Doklad of Ministerstva prirodnyh resursov i ekologii Rossijskoj Federacii. URL: <https://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/821/%D0%93%D0%94-2018.pdf> (data obrashcheniya: 19.02.2023).
6. O vnesenii izmenenij v Pravila primeneniya obyazatel'nyh trebovanij v otnoshenii otdel'nyh kolesnyh transportnyh sredstv i provedeniya ocenki ih sootvetstviya: postanovlenie Pravitel'stva Ros. Federacii ot 15 iyunya 2022 g. № 1269 // Oficial'nyj internet-portal pravovoj informacii. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/> (data obrashcheniya: 19.02.2023).
7. Wik C. Tier III technology development and its influence on ship installation and operation // CIMAC Congress. 2013. № 159. 11 p.
8. Reported prevalence of health conditions that affect drivers / F. Alonso [et al.] // Cogent Medicine. 2017. Vol. 4. DOI: 10.1080/2331205X.2017.1303920.
9. An experimental study of a very high-pressure diesel injector (up to 5000 bar) by means of optical diagnostics / W. Vera-Tudela [et al.] // Fuel. 2020. Vol. 275. ID 117933.
10. Sacuk I.V. Zakonomernosti raspredeleniya i tekhnicheskogo sostoyaniya ekspluatiruemykh pozharnyh avtomobilej po pokazatelyam konstruktivnoj bezopasnosti silovykh ustanovok // Sibirskij pozharno-spatatel'nyj vestnik. 2022. № 2. С. 31–38. DOI: 10.34987/vestnik.
11. Primenenie integrirovannogo raschetno-eksperimental'nogo kompleksa dlya razrabotki i dovodki rabochih processov dizelya s akkumulyatornoj toplivnoj sistemoj / A.Yu. Dunin [i dr.] // Dvigatelistroenie. 2022. № 1 (287). S. 32–44.
12. Lozhkin V.N., Lozhkina O.V. Catalytic converter with storage device of exhaust gas heat for city bus // Transportation research procedia. 2017. Vol. 20. P. 412–417. DOI: 10.1016/j.trpro.2017.01.067.
13. Tsukasa Azuma. What are the bad catalytic converter symptoms? // Car from Japan. 2020. № 31. URL: <https://carfromjapan.com/article/car-maintenance/bad-catalytic-converter-symptoms/> (data obrashcheniya: 04.02.2023).
14. Lozhkin V.N., Onishchenko I.A., Lozhkina O.V. Raschetnoe issledovanie pozharoопасnyh rezhimov raboty kataliticheskikh nejtralizatorov v usloviyah Arktiki // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2016. № 3. S. 7–16.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 26.03.2023; одобрена после рецензирования: 03.04.2023; принята к публикации: 11.04.2023

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 26.03.2023; approved after review: 03.04.2023; accepted for publication: 11.04.2023

*Информация об авторах:*

**Гавкалюк Богдан Васильевич**, начальник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: rector@igps.ru

**Ложкин Владимир Николаевич**, профессор кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, профессор, e-mail: vnlojkin@yandex.ru

**Смирнов Алексей Сергеевич**, первый заместитель начальника Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, профессор, e-mail: sas@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1661-9089>

*Information about the authors:*

**Gavkalyuk Bogdan V.**, supervisor of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: rector@igps.ru

**Lozhkin Vladimir N.**, professor of the department of fire, rescue equipment and automobile economy of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of technical sciences, professor, e-mail: vnlojkin@yandex.ru

**Smirnov Alexey S.**, first deputy head of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of technical sciences, professor, e-mail: sas@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1661-9089>