

Научная статья

УДК 614.844.1; DOI: 10.61260/1998-8990-2026-2-156-164

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ ПОЖАРНЫХ НАСОСОВ ЗА СЧЕТ ВЫБОРА ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНОГО ВИДА ВАКУУМНОЙ СИСТЕМЫ МЕТОДОМ АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ

✉ Сытдыков Максим Равильевич;

Ивахнюк Григорий Константинович;

Моторыгин Юрий Дмитриевич.

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

✉ sytdykov@igps.ru

Аннотация: Центробежные пожарные насосы являются основным оборудованием пожарных автомобилей и требуют надежной вакуумной системы для обеспечения быстрого забора воды из открытых водоисточников. Эффективность работы насоса напрямую зависит от характеристик применяемой вакуумной системы. В работе представлены данные по выбору наиболее предпочтительного вида вакуумного насоса для обеспечения быстрого заполнения центробежного пожарного насоса водой перед началом тушения. Правильный выбор вакуумной системы позволяет минимизировать время подготовки насоса к работе и обеспечить его надежное функционирование при заборе воды из водоемов.

В связи с этим возникает необходимость в проведении сравнительной оценки существующих видов вакуумных насосов по совокупности их технических и эксплуатационных параметров. С этой целью построена иерархическая структура многокритериальной оценки, с помощью которой определен наиболее предпочтительный вид вакуумного насоса. Предложены рекомендации для дальнейшего совершенствования вакуумных систем центробежных пожарных насосов.

Ключевые слова: экспертная оценка, центробежные пожарные насосы, вакуумные системы, вакуумные насосы, метод анализа иерархий, водозабор

Для цитирования: Сытдыков М.Р., Ивахнюк Г.К., Моторыгин Ю.Д. Повышение эффективности центробежных пожарных насосов за счет выбора предпочтительного вида вакуумной системы методом анализа иерархий // Проблемы управления рисками в техносфере. 2026. № 2 (78). С. 156–164. DOI: 10.61260/1998-8990-2026-2-156-164

Scientific article

IMPROVING THE EFFICIENCY OF CENTRIFUGAL FIRE PUMPS BY SELECTING THE PREFERRED TYPE OF VACUUM SYSTEM USING HIERARCHY ANALYSIS

✉ Sytdykov Maxim R.;

Ivakhnyuk Grigoriy K.;

Motorygin Yuriy D.

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

✉ sytdykov@igps.ru

Abstract. Centrifugal fire pumps are the main equipment of fire vehicles and require a reliable vacuum system to ensure rapid water intake from open water sources. The efficiency of the pump directly depends on the characteristics of the applied vacuum system. The paper presents data on the selection of the most preferred type of vacuum pump to ensure rapid filling of the centrifugal fire pump with water before the start of extinguishing. The correct choice

of vacuum system allows minimizing the time of pump preparation for operation and ensuring its reliable functioning when taking water from reservoirs.

In this regard, there is a need to conduct a comparative assessment of existing types of vacuum pumps according to their technical and operational parameters. For this purpose, a hierarchical structure of multi-criteria assessment has been built, with the help of which the most preferred type of vacuum pump is determined. Recommendations are proposed for further improvement of vacuum systems of centrifugal fire pumps.

Keywords: expert evaluation, centrifugal fire pumps, vacuum systems, vacuum pumps, hierarchy analysis method, water intake

For citation: Sytdykov M.R., Ivakhnyuk G.K., Motorygin Yu.D. Improving the efficiency of centrifugal fire pumps by selecting the preferred type of vacuum system using hierarchy analysis // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2026. № 2 (78). P. 156–164. DOI: 10.61260/1998-8990-2026-2-156-164

Введение

Центробежные пожарные насосы являются основным элементом насосно-рукавных систем мобильных средств пожаротушения [1–3]. Одной из важнейших характеристик таких насосов является способность быстрого забора воды из открытых водоисточников (водоемов, рек, озер) на высоту до 7 м. Для обеспечения этой функции применяются вакуумные системы, создающие разрежение в корпусе насоса и всасывающей линии, что обеспечивает подъем воды и заполнение насоса [4]¹.

От надежности и быстродействия вакуумной системы зависит оперативность начала тушения пожара при заборе воды из открытых водоисточников. Согласно нормативным требованиям время вакуумирования (создания разрежения и заполнения насоса водой) не должно превышать 30–45 с при высоте всасывания 7 м [5].

В современной практике применяются различные типы вакуумных насосов [6, 7]: струйные (газоструйные), поршневые, шибберные (пластинчато-роторные) и водokolцевые. Каждый из этих видов имеет свои преимущества и недостатки, которые необходимо учитывать при проектировании и модернизации пожарной техники.

Виды рассматриваемых вакуумных насосов представлены на рис. 1.



Рис. 1. Виды рассматриваемых вакуумных насосов

¹ ГОСТ Р 52283–2019. Техника пожарная. Насосы центробежные пожарные. Общие технические требования. Методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2019. 20 с.

В работе для определения наиболее рационального варианта вакуумного насоса в системе центробежных пожарных насосов используется методология иерархического анализа. Суть методики заключается в структурировании комплексной проблемы путем её разбиения на простые компоненты, что обеспечивает возможность многокритериальной оценки различных конструкций вакуумных насосов по их техническим и эксплуатационным свойствам.

Метод исследования

При выборе приоритетного типа вакуумного насоса формируется доминантная иерархическая модель, изображённая на рис. 2. Структура иерархии имеет трёхуровневое строение: на вершине располагается целевая функция задачи, промежуточный уровень образуют технические параметры вакуумных насосов, детализирующие цель исследования, базовый уровень представлен вариантами вакуумных насосов, оцениваемых по указанным параметрам.

Для реализации поставленной задачи экспертная группа на основе принятой оценочной шкалы заполнила специально разработанные матрицы парных сравнений [8]. Проведённый анализ, систематизация и синтез полученной информации позволяют количественно выразить относительное влияние элементов иерархической структуры, а также установить наиболее рациональный тип вакуумного насоса.

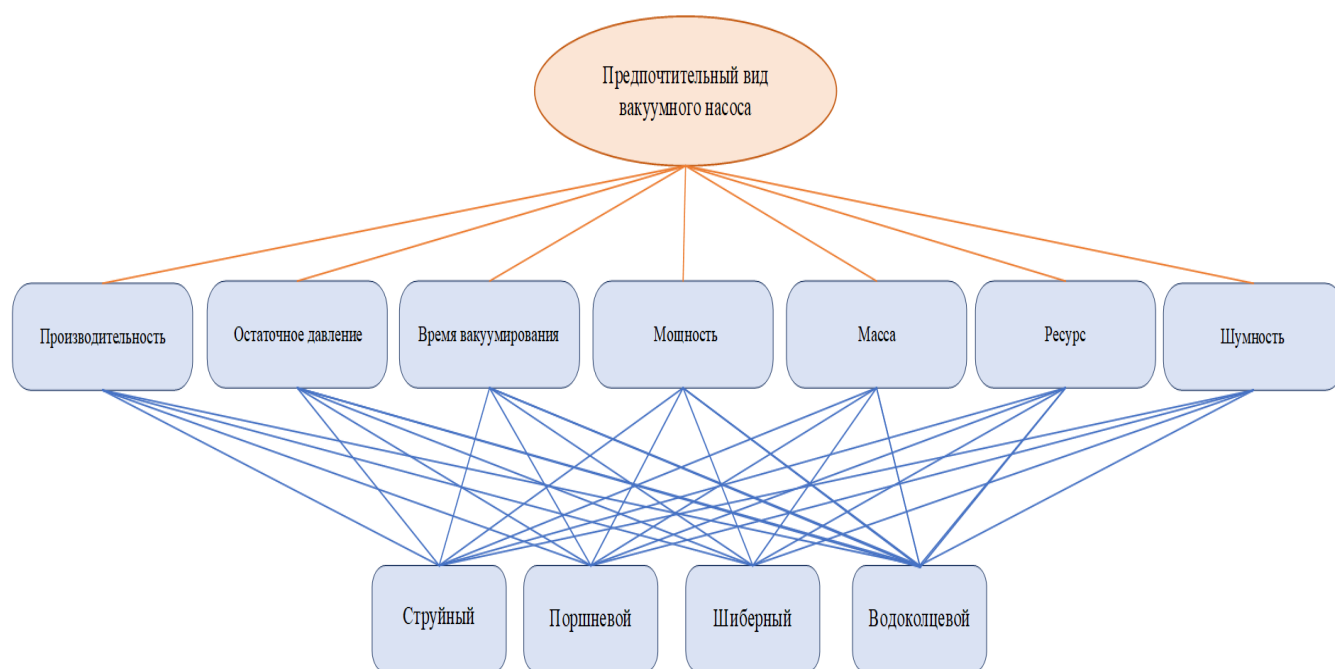


Рис. 2. Иерархическая структура многокритериальной оценки по выбору предпочтительного вида вакуумного насоса

В процессе заполнения матриц экспертная группа опирается на общепризнанную шкалу относительной приоритетности с градацией от 1 до 9 [9], при этом оценка 9 характеризует значительное преобладание одного параметра над другим, тогда как оценка 1 указывает на их равнозначность.

В матричной структуре производится сопоставление относительной приоритетности параметров, указанных в левом столбце, с параметрами, представленными в верхней строке. Матрица парного сопоставления для второго уровня иерархии представлена в табл. 1.

Таблица 1

Матрица попарного сравнения параметров вакуумных насосов

Параметры компрессоров	Производительность	Остаточное давление	Время вакуумирования	Мощность	Масса	Ресурс	Шумность
Производительность	1	2	3	5	6	1/2	7
Остаточное давление	1/2	1	2	4	5	1/3	6
Время вакуумирования	1/3	1/2	1	3	4	1/4	5
Мощность	1/5	1/4	1/3	1	2	1/6	3
Масса	1/6	1/5	1/4	1/2	1	1/7	2
Ресурс	2	3	4	6	7	1	8
Шумность	1/7	1/6	1/5	1/3	1/2	1/8	1

Для каждой матрицы парных сравнений посредством математической обработки рассчитаны векторы приоритетов V , характеризующие степень относительного воздействия совокупности элементов на элемент вышестоящего уровня. Надёжность и корректность применения полученных результатов подтверждается рассчитанными числовыми показателями отношения согласованности (ОС) экспертных оценок для каждой матрицы парных сравнений характеристик и типов вакуумных насосов, величина которого не должна превышать 10 % для признания результатов допустимыми [9, 10].

При определении ОС вычислены промежуточные показатели, в частности индекс согласованности (ИС), характеризующий численную величину несогласованности, и максимальное собственное значение матрицы $\lambda_{\max}$.

Таким образом, для матрицы попарного сравнения параметров вакуумных насосов имеем:

$$V = (0,25; 0,14; 0,10; 0,05; 0,03; 0,41; 0,02); \lambda_{\max} = 7,52;$$

$$\text{ИС} = \frac{(7,52-7)}{7-1} = 0,09; \text{ОС} = \frac{0,09}{1,32} = 0,07.$$

Численные значения величин ОС, ИС и $\lambda_{\max}$ по каждому из семи представленных параметров вакуумных насосов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Численные значения величин ОС, ИС и $\lambda_{\max}$ параметров вакуумных насосов

Величина	Параметры вакуумных насосов						
	Производительность	Остаточное давление	Время вакуумирования	Мощность	Масса	Ресурс	Шумность
$\lambda_{\max}$	4,20	4,30	4,20	4,30	4,20	4,30	4,20
ИС	0,07	0,08	0,07	0,08	0,07	0,08	0,07
ОС	0,08	0,09	0,08	0,09	0,08	0,09	0,08

Из табл. 2 видно, что полученные численные значения ОС каждого рассмотренного параметра вакуумных насосов составляют менее 10 % и являются приемлемыми для дальнейших вычислений.

Локальные векторы приоритетов видов вакуумных насосов по каждому параметру представлены в табл. 3.

Таблица 3

Локальные векторы приоритетов видов вакуумных насосов по их параметрам

Производительность	Остаточное давление	Время вакуумирования	Мощность	Масса	Ресурс	Шумность
V = (0,15; 0,28; 0,42; 0,15)	V = (0,10; 0,24; 0,48; 0,18)	V = (0,12; 0,35; 0,38; 0,15)	V = (0,38; 0,26; 0,22; 0,14)	V = (0,32; 0,25; 0,31; 0,12)	V = (0,08; 0,18; 0,65; 0,09)	V = (0,40; 0,20; 0,28; 0,12)

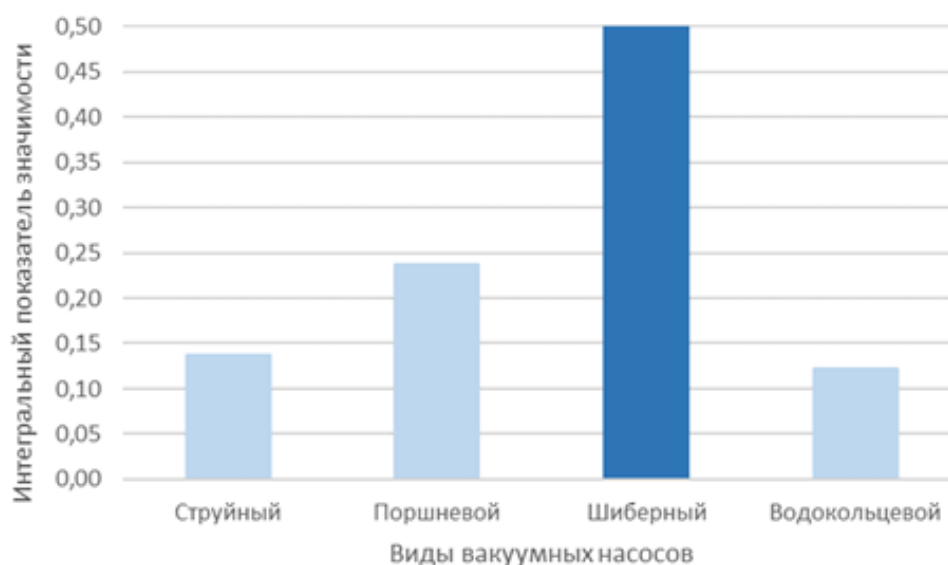
Путем вычисления интегрального показателя значимости определяем наиболее предпочтительный вид вакуумного насоса, при этом чем выше интегральный показатель значимости, тем предпочтительнее выбор того или иного вакуумного насоса. Численные значения интегрального показателя значимости представлены в табл. 4.

Таблица 4

Численные значения интегрального показателя значимости

Виды вакуумных насосов	Параметры вакуумных насосов							Интегральный показатель значимости
	Производительность	Остаточное давление	Время вакуумирования	Мощность	Масса	Ресурс	Шумность	
	0,25	0,14	0,10	0,05	0,03	0,41	0,02	
Струйный	0,15	0,10	0,12	0,38	0,32	0,08	0,40	0,137
Поршневой	0,28	0,24	0,35	0,26	0,25	0,18	0,20	0,237
Шиберный	0,42	0,48	0,38	0,22	0,31	0,65	0,28	0,503
Водокольцевой	0,15	0,18	0,15	0,14	0,12	0,09	0,12	0,123

Для наглядности результаты вычисления представлены на рис. 3.

**Рис. 3. Интегральный показатель значимости видов вакуумных насосов**

Полученные численные значения интегрального показателя значимости позволяют сделать вывод о наиболее предпочтительном виде вакуумного насоса. Таким образом, данные табл. 4 и рис. 3 показывают, что у шиберного (пластинчато-роторного) вида вакуумных насосов показатель значимости выше, чем у других видов, и составляет 0,503.

Выводы

Оценив виды вакуумных насосов по совокупности их технических и эксплуатационных параметров методом анализа иерархий, определили наиболее предпочтительный вид вакуумного насоса для применения в составе центробежных пожарных насосов, которым является шиберный (рис. 3).

Применение шиберных вакуумных насосов позволит обеспечить:

- высокий ресурс работы (до 15 000–20 000 ч), что критично для пожарной техники;
- оптимальную производительность при компактных размерах;
- низкое остаточное давление, обеспечивающее эффективное вакуумирование;
- невысокую массу и габариты, что важно для мобильных установок;
- приемлемый уровень шума при эксплуатации;
- стабильную работу в широком диапазоне условий эксплуатации.

Данные преимущества позволяют повысить эффективность работы центробежных пожарных насосов и сократить время начала подачи воды на тушение пожара при заборе воды из открытых водоисточников.

Однако выбор конкретной модели шиберного вакуумного насоса из представленных на рынке, оптимизация его конструктивных параметров и режимов работы в составе центробежного пожарного насоса требуют дальнейших исследований. Такая работа авторами проводится.

Список источников

1. Универсальная установка пожаротушения: пат. RU 195837 U1 Рос. Федерация; МПК А62С 13/00 / Кожевин Д.Ф., Поляков А.С.; Сытдыков М.Р., Шилов А.Г.; заявитель и патентообладатель Кожевин Д.Ф., Поляков А.С.; Сытдыков М.Р., Шилов А.Г., – № 2019130908; заявл. 30.09.2019; опубл. 06.02.2020, Бюл. № 4. URL: <https://goo-gl.ru/6lMr> (дата обращения: 16.02.2026 г.).
2. Пожарная техника: учеб. / Б.В. Гавкалюк [и др.]. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2022. Ч. 2. 448 с. EDN OFYQTU.
3. Моисеев Ю.Н., Тербнев В.В. Пожарно-спасательная техника: учеб. М.: ООО Издательство «КУРС», 2019. 256 с. EDN ZBMLDF.
4. Преснов А.И., Печурин А.А., Иванова Е.С. Насосные агрегаты мобильных средств пожаротушения: современное состояние, перспективы, технические решения // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». 2023. № 2. С. 26–35. EDN CJMNBX.
5. Синельникова Е.А., Слепцова И.Н., Кротова А.А. Требования к насосным агрегатам пожарных автомобилей // Актуальные проблемы пожарной безопасности: материалы XXVIII Междунар. науч.-практ. конф.: в 2-х ч. Ч. 2. Ногинск: Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2016. С. 122–128. EDN YGQEWН.
6. Яковенко Ю.Ф., Яковенко К.Ю. Насосные установки современных пожарных автомобилей: модельные ряды, особенности конструкции, проблемы производства // Пожаровзрывобезопасность. 2004. Т. 13. № 2. С. 56–65. EDN PBVTJT.
7. Амчеславский О.В., Ахремочкин С.А., Селиверстов И.В. Обзор вакуумных систем современных пожарных автомобилей // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе в условиях цифровой трансформации: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию со дня основания ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ. Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2024. С. 347–353. EDN FGHOMK.

8. Формирование матрицы попарного сравнения для уменьшения риска при принятии решений / В. В. Паладьев [и др.] // Информация и безопасность. 2014. Т. 17. № 3. С. 484–485. EDN SZGPRX.

9. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.

10. Сытдыков М.Р., Брусаянин Д.В., Абдуллаева Ю.С. Повышение эффективности установок пожаротушения за счет выбора предпочтительного вида компрессора методом анализа иерархий // Проблемы управления рисками в техносфере. 2024. № 3 (71). С. 135–142. EDN CIZWDW. DOI: 10.61260/1998-8990-2024-3-135-142

References

1. Universal'naya ustanovka pozharotusheniya: pat. RU 195837 U1 Ros. Federaciya; MPK A62C 13/00 / Kozhevin D.F., Polyakov A.S.; Sytdykov M.R., Shilov A.G.; zayavitel' i patentoobladatel' Kozhevin D.F., Polyakov A.S.; Sytdykov M.R., Shilov A.G., – № 2019130908; zayavl. 30.09.2019; opubl. 06.02.2020, Byul. № 4. URL: <https://goo-gl.ru/6lMp> (data obrashcheniya: 16.02.2026 g.).

2. Pozharnaya tekhnika : ucheb. / B.V. Gavkalyuk [i dr.]. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2022. Ch. 2. 448 s. EDN OFYQTU.

3. Moiseev Yu.N., Terebnev V.V. Pozharno-spasatel'naya tekhnika: ucheb. M.: OOO Izdatel'stvo «KURS», 2019. 256 s. EDN ZBMLDF.

4. Presnov A.I., Pechurin A.A., Ivanova E.S. Nasosnye agregaty mobil'nyh sredstv pozharotusheniya: sovremennoe sostoyanie, perspektivy, tekhnicheskie resheniya // Nauchno-analiticheskij zhurnal «Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby MCHS Rossii». 2023. № 2. S. 26–35. EDN CJMNBX.

5. GOST R 52283–2019. Tekhnika pozharnaya. Nasosy centrobezhnnye pozharnye. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. Metody ispytaniy. M.: Standartinform, 2019. 20 s.

6. Sinel'nikova E.A., Slepova I.N., Krotova A.A. Trebovaniya k nasosnym agregatam pozharnykh avtomobilej // Aktual'nye problemy pozharnoj bezopasnosti: materialy XXVIII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.: v 2-h ch. Ch. 2. Noginsk: Vserossijskij ordena «Znak Pocheta» nauchno-issledovatel'skij institut protivopozharnoj oborony Ministerstva Rossijskoj Federacii po delam grazhdanskoj oborony, chrezvychajnym situacijam i likvidacii posledstvij stihijnyh bedstvij, 2016. S. 122–128. EDN YGQEW.

7. Yakovenko Yu.F., Yakovenko K.Yu. Nasosnye ustanovki sovremennykh pozharnykh avtomobilej: model'nye ryady, osobennosti konstrukcii, problemy proizvodstva // Pozharovzryvobezopasnost'. 2004. T. 13. № 2. S. 56–65. EDN PBBTTJ.

8. Amcheslavskij O.V., Ahremochkin S.A., Seliverstov I.V. Obzor vakuumnykh sistem sovremennykh pozharnykh avtomobilej // Innovacionnye tekhnologii v agropromyshlennom komplekse v usloviyah cifrovoj transformacii: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. 80-letiyu so dnya osnovaniya FGBOU VO Volgogradskij GAU. Volgograd: Volgogradskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2024. S. 347–353. EDN FGHOMK.

9. Formirovanie matricy poparnogo sravneniya dlya umen'sheniya riska pri prinyatii reshenij / V.V. Palad'ev [i dr.] // Informaciya i bezopasnost'. 2014. T. 17. № 3. S. 484–485. EDN SZGPRX.

10. Saati T. Prinyatie reshenij. Metod analiza ierarhij. M.: Radio i svyaz', 1993. 278 s.

11. Sytdykov M.R., Brusyanin D.V., Abdullaeva Yu.S. Povyshenie effektivnosti ustanovok pozharotusheniya za schet vybora predpochtitel'nogo vida kompressora metodom analiza ierarhij // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2024. № 3 (71). S. 135–142. EDN CIZWDW. DOI: 10.61260/1998-8990-2024-3-135-142

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 31.03.2026; одобрена после рецензирования: 12.05.2026;
принята к публикации: 16.06.2026

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 31.03.2026; approved after review: 12.05.2026;
accepted for publication: 16.06.2026

Информация об авторах:

Сытдыков Максим Равильевич, начальник кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: sytdykov@igps.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5343-4764>, SPIN-код: 7548-0539

Ивахнюк Григорий Константинович, заведующий кафедрой инженерной защиты окружающей среды Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета) (190013, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 24-26/49, лит. А), доктор химических наук, профессор, e-mail: fireside@inbox.ru, <http://orcid.org/0000-0003-2556-303X>, SPIN-код: 1985-9518

Моторыгин Юрий Дмитриевич, профессор кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, профессор, e-mail: fire-risk1@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2407-5061>, SPIN-код: 3913-7751

Information about authors:

Sytdykov Maxim R., head of the department of fire, emergency rescue equipment and automotive industry of 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: sytdykov@igps.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5343-4764>, SPIN: 7548-0539

Ivakhnyuk Grigoriy K., head of department of engineering protection of environment of Saint-Petersburg state institute of technology (190013, Saint Petersburg, Moskovsky pr., 24-26/49, lit. A), doctor of chemical sciences, professor, <http://orcid.org/0000-00032556-303X>, e-mail: fireside@inbox.ru, SPIN: 1985-9518

Motorygin Yuri D., professor of the department of criminalistics and engineering and technical expertise of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of technical sciences, professor, e-mail: fire-risk1@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2407-5061>, SPIN: 3913-7751