

Научная статья

УДК 608.2

doi:10.34987/vestnik.sibpsa.2025.88.70.016

Сравнительная оценка огнетушащей способности средств дегазации и дезактивации

Илья Вячеславович Мещеряков¹

Алина Станиславовна Константинова²

Санкт-Петербургский университет ГПСМЧС России, Санкт-Петербург, Россия,

¹<http://orcid.org/0009-0000-0014-5232>

²<http://orcid.org/0000-0002-2893-9058>

Автор ответственный за переписку: Илья Вячеславович Мещеряков, ilya.mesch@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрен вопрос возможности компенсации нехватки сил и средств штатных подразделений пожарной охраны МЧС России за счёт использования имеющихся ресурсов подразделений гражданской обороны МЧС России. В силу объективных причин (удалённость пожарно-спасательных частей, неудовлетворительное состояние дорожного покрытия, высокий износ техники) время прибытия первых подразделений к месту пожара в сельской местности зачастую превышает нормативное. Использование средств дегазации и дезактивации, стоящих на вооружении подразделений гражданской обороны МЧС России, в качестве огнетушащих веществ позволит повысить тактические возможности прибывших подразделений на начальной стадии развития пожара.

Настоящая работа посвящена исследованию пожарно-технических характеристик водных растворов средств дегазации и дезактивации. Дана сравнительная оценка проникающей способности воды и водных растворов гипохлорита кальция, хлористой извести, лимонной кислоты, сульфанола и хлорамина. Определена статистическая значимость полученных результатов с помощью F-критерия Фишера. Установлено, что водные растворы гипохлорита натрия и сульфанола при концентрациях действующих веществ 1 и 0,3% масс соответственно обладают большей проникающей способностью по сравнению с водой.

Проведены натурные огневые испытания по тушению экспериментального очага пожара класса А растворами хлорамина, сульфанола и гипохлорита кальция. Установлено, что водный раствор гипохлорита кальция при подаче тонкораспыленной струей обладает огнетушащей способностью, превышающей такую способность воды на 16%. Водные растворы хлорамина и сульфанола при аналогичных условиях подачи огнетушащей способностью приблизительно в 2 раза выше, чем у воды.

Ключевые слова: проникающая способность, очаг пожара класса А, огнетушащий состав, тушение тонкораспыленной водой

Для цитирования: Мещеряков И.В., Константинова А.С. Сравнительная оценка огнетушащей способности средств дегазации и дезактивации // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2025. № 1(36). С. 166-174. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2025.88.70.016>

Original article

Comparative assessment of the fire extinguishing ability of degassing and decontamination agents

Ilya V. Meshcheryakov¹

Alina S. Konstantinova²

Saint - Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Saint Petersburg, Russia,

¹<http://orcid.org/0009-0000-0014-5232>

²<http://orcid.org/0000-0002-2893-9058>

Corresponding author: Ilya V. Meshcheryakov, ilya.mesch@mail.ru

Abstract. The article considers the possibility of compensating for the shortage of forces and resources of the regular fire protection units of the Russian Emergencies Ministry by using the available resources of the civil defense units of the Russian Emergencies Ministry. Due to objective reasons (remoteness of fire and rescue units, unsatisfactory condition of the road surface, high wear of equipment), the time of arrival of the first units to the site of a fire in rural areas often exceeds the standard. The use of degassing and decontamination equipment, which are in service with the civil defense units of the Russian Emergencies Ministry, as fire extinguishing agents will increase the tactical capabilities of the arriving units at the initial stage of the fire development.

This work is devoted to the study of fire-technical characteristics of aqueous solutions of degassing and decontamination agents. A comparative assessment of the penetrating ability of water and aqueous solutions of calcium hypochlorite, lime chloride, citric acid, sulfonol and chloramine is given. The statistical significance of the obtained results is determined using Fisher's F-criterion. It is established that aqueous solutions of sodium hypochlorite and sulfonol at concentrations of active substances of 1 and 0.3% by weight, respectively, have greater penetrating ability compared to water.

Full-scale fire tests were conducted to extinguish an experimental Class A fire using solutions of chloramine, sulfonol and calcium hypochlorite. It was found that an aqueous solution of calcium hypochlorite, when supplied as a finely atomized stream, has a fire-extinguishing capacity that exceeds that of water by 16%. Aqueous solutions of chloramine and sulfonol, under similar supply conditions, have a fire-extinguishing capacity that is approximately 2 times higher than that of water.

Keywords: penetrating ability, A-class fire source, fire extinguishing agent, extinguishing with fine water spray

For citation: Meshcheryakov I.V., Konstantinova A.S. Comparative assessment of the fire extinguishing ability of degassing and decontamination means // Siberian Fire and Rescue Bulletin. 2025. № 1(36). С. 166-174. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2025.88.70.016>

Подразделения гражданской обороны МЧС России имеют на вооружении химические средства, предназначенные для дегазации и дезактивации отравляющих и радиоактивных веществ. Большая часть таких средств остаётся не использованными по прямому назначению и подлежит утилизации после истечения срока годности [1].

Существует проблема нехватки сил и средств штатных подразделений пожарной охраны МЧС России [2]. Практика показывает, что в сельской местности время прибытия первых подразделений к месту пожара зачастую превышает нормативное по объективным причинам – удалённость пожарно-спасательных частей, неудовлетворительное состояние дорожного покрытия, высокий износ техники [3]. Прибывшие подразделения зачастую не полностью укомплектованы личным составом и огнетушащими веществами, отличными от воды [4].

С целью поиска путей повышения тактических возможностей пожарных подразделений сотрудники СПб УГПС МЧС России исследуют огнетушащий эффект средств дегазации и дезактивации [5-7]. Успешное выявление такого эффекта открывает перспективы разработки планов тушения пожаров силами подразделений ГО МЧС России до прибытия пожарной охраны, а также обеспечения подразделений пожарной охраны дополнительными огнетушащими средствами.

В данной статье представлены результаты исследования огнетушащих характеристик водных растворов средств дегазации и дезактивации – проникающей способности и эффекта тушения очага пожара класса А. Выбор исследуемых характеристик обусловлен их актуальностью для ликвидации пожаров, возникающих вследствие аварий на транспорте при перевозке грузов, способных к гетерогенному горению. Годовые объемы таких перевозок в России имеют порядок сотен миллионов тонн – по официальным данным РЖД за 2023 год по железнодорожной сети было перевезено 32,8 млн т зерна; объем перевозимой лесопроductии в России увеличился на 13% по сравнению с 2022 годом и составил 355,7 миллиона м³; перевозка угля составила более 213 млн т. Объемы перевозки отрубей и муки за 2023 год составил 1,671 млн т, круп – 255 тысяч т [8].

При тушении материалов и продукции, склонных к тлению, высокое значение имеет проникающая способность огнетушащих веществ [9,10]. Нами проведено экспериментальное определение этой способности для водных растворов веществ, входящих в состав средств дегазации и дезактивации. Перечень испытанных веществ представлен в Табл.1.

Табл.1. Действующие вещества, входящие в состав средств дегазации и дезактивации

№ п/п	Действующее вещество, химическая формула	Способы применения в целях ГО
1	Гипохлорит кальция, $\text{Ca}(\text{ClO})_2$	Растворы применяют с активаторами (аммонийными соединениями, соляной кислотой и алюминием азотнокислым) и антифризом
2	Хлористая известь, $\text{Ca}(\text{ClO})_2 + \text{CaCl}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2$	Применяют для обеззараживания малолетучих АХОВ на местности (в сухом виде и в виде суспензии) и на технических средствах (машинах) в виде суспензии или кашицы
3	Лимонная кислота, $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Не стоит на вооружении подразделений ГО МЧС. В целях ГО может быть использована в качестве бактерицидного и фунгицидного средства
4	Сульфонол, $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{C}_6\text{H}_4\text{NaO}_3\text{S}$	Является активным веществом в моющем порошке СФ-2у, в состав которого кроме сульфонола входят триполифосфат натрия и сульфат натрия
5	Хлорамин, NH_2Cl	Применяют с активаторами (аммонийными соединениями)

В ходе эксперимента в стеклянную колбу помещали 80 г древесных опилок хвойных пород и утрамбовывали до уменьшения объема в 2,75 раза. На утрамбованные опилки выливали по 10 мл водных растворов, перечисленных в Табл.1, выдерживали 5 минут, после чего визуально фиксировали глубину проникновения раствора в слой опилок (Рис.1).



Рис.1. Проникновение раствора сульфонола в слой опилок

В качестве контрольного образца в колбу заливали чистую воду.

В Табл.2 представлены результаты экспериментов.

Табл.2. Глубина проникновения растворов в слой опилок

№ п/п	Действующее вещество / концентрация в водном растворе, % _{масс}	Глубина проникновения раствора в опилки, мм (4 независимых эксперимента)				Среднее значение, мм
1	Вода / 100	27	20	24	20	23
2	Гипохлорит кальция / 1	30	31	32	29	31
3	Хлористая известь / 10	25	23	17	24	22
4	Лимонная кислота / 10	36	27	32	35	33
5	Лимонная кислота / 20	31	40	32	29	33
6	Сульфенол / 0,3	29	31	31	35	32
7	Хлорамин / 10	32	32	31	32	32

Для проверки статистической значимости результатов были оценены различия полученных выборок попарно с помощью F-критерия Фишера [11]. В табл. 3 представлены значения $F_{\text{эмп}}$, определённого по формуле:

$$F_{\text{эмп}} = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad (1)$$

где: S_1^2 и S_2^2 – дисперсии сравниваемых выборок, при этом $S_1^2 > S_2^2$.

Для уровня значимости $p = 0,05$ при количестве измерений $n = 4$ критическое значение F-критерия $F_{\text{кр}} = 9,28$. Различия дисперсий считаются статистически значимыми при $F_{\text{эмп}} > F_{\text{кр}}$.

Табл.3. Значения F-критерия Фишера

Действующее вещество в водном растворе, % _{масс}	Гипохлорит кальция / 1	Хлористая известь / 10	Лимонная кислота / 10	Лимонная кислота / 20	Сульфенол / 0,3	Хлорамин / 10
Отношение дисперсий выборок $F_{\text{эмп}} = \frac{S_1^2}{S_2^2}$						
Вода / 100	48,38	1,24	1,99	4,06	3,35	1886,75
Гипохлорит кальция / 1		60,16	96,19	196,31	14,46	39,00
Хлористая известь / 10			1,60	3,26	4,16	2346,25
Лимонная кислота / 10				2,04	6,65	3751,50
Лимонная кислота / 20					13,57	7656,25
Сульфенол / 0,3						564,00
Примечание: синим цветом выделены ячейки, где значение $F_{\text{эмп}}$ превышает $F_{\text{кр}}$						

Таким образом, экспериментально установлено, что водные растворы гипохлорита натрия и сульфенола при концентрациях действующих веществ 1 и 0,3%_{масс} соответственно обладают большей проникающей способностью по сравнению с водой.

Существуют способы повышения огнетушащего эффекта тонкораспыленной воды путем добавления химических веществ [12]. С целью определения огнетушащего потенциала штатных средств дегазации и дезактивации проводили натурные огневые испытания по тушению экспериментального очага пожара класса А растворами хлорамина, сульфенола и гипохлорита кальция в концентрациях, указанных в Табл.2.

Экспериментальный очаг пожара был выполнен по аналогии с модельным очагом пожара [13]. Он представлял собой штабель из восьми брусков, выполненных из берёзовой древесины естественной влажности, размерами 300 х 20 х 20 мм, под который устанавливали металлический поддон с дизельным топливом в качестве инициатора горения. Испытуемый раствор объемом 1 л заливали в баллон с насадком с возможностью создания избыточного давления. Дизельное топливо поджигали и выдерживали минуту свободного горения, после чего осуществляли тушение (Рис.2).



Рис.2. Тушение экспериментального очага пожара тонкораспыленной водой

Раствор подавали к очагу тонкораспыленной струей с расходом $Q = 0,0020$ л/с до прекращения видимого горения, фиксировали длительность подачи. Тушение считалось успешным при отсутствии повторного воспламенения и очагов тления на поверхности древесины в течение 5 минут после окончания подачи раствора. Результаты эксперимента представлены в Табл.4.

Табл.4. Результаты эксперимента

Состав раствора (действующее вещество / концентрация, % _{масс})	№ эксперимента	Время тушения, с	Масса раствора, поданного на тушение, кг
Вода / 100	1	19	0,0380
	2	20	0,0400
	3	24	0,0480
	4	18	0,0360
Хлорамин / 10	1	4	0,0080
	2	13	0,0260
	3	7	0,0140
	4	22	0,0440
Сульфонол / 0,3	1	4	0,0080
	2	8	0,0160
	3	15	0,0300
	4	10	0,0200
Гипохлорит кальция / 1	1	27	0,0540
	2	8	0,0160
	3	15	0,0300
	4	18	0,0360

Выявлено, что раствор сульфонола образует на поверхности древесины пленку, препятствующую повторному воспламенению (Рис.3).



Рис.3. Плёнка на поверхности древесины, образованная в результате подачи водного раствора сульфанола

Проведем сравнительную оценку огнетушащей способности каждого раствора. При заданных размерах брусков полная площадь открытой поверхности древесины составит:

$$S_{\text{оч}} = S_{\text{б}} \cdot n_{\text{б}} - S_{\text{оп}} \quad (2)$$

где: $S_{\text{б}}$ – площадь поверхности одного бруска, м^2 ;

$n_{\text{б}}$ – количество брусков в штабеле;

$S_{\text{оп}}$ – площадь опорных поверхностей брусков в штабеле, м^2 .

Тогда площадь древесины составит:

$$S_{\text{оч}} = (0,02 \cdot 0,02 \cdot 2 + 0,02 \cdot 0,3 \cdot 4) \cdot 8 - 0,02 \cdot 0,02 \cdot 15 = 0,1924 \text{ м}^2$$

С учетом того, что процесс горения протекает не по всей поверхности штабеля, примем площадь горения равной $0,1 \text{ м}^2$. Определим огнетушащую интенсивность $I_{\text{туш}}$ подачи растворов:

$$I_{\text{туш}} = \frac{Q_{\text{туш}}}{S_{\text{оч}}} \quad (3)$$

где: $Q_{\text{туш}}$ – расход раствора на тушение очага, л/с.

$$I_{\text{туш}} = \frac{0,0020}{0,1} = 0,02 \text{ л/с}$$

Огнетушащую способность определим как среднюю массу раствора, при подаче которой достигнуто тушение экспериментального очага. Результаты расчета представлены в Табл.5.

Табл.5. Огнетушащая способность испытанных растворов

№ п/п	Состав раствора (действующее вещество / концентрация, % _{масс})	Средняя масса поданного раствора, кг	Огнетушащая способность, кг/м ²
1	Вода / 100	0,0405	0,405
2	Хлорамин / 10	0,0230	0,230
3	Сульфол / 0,3	0,0185	0,185
4	Гипохлорит кальция / 1	0,0340	0,340

Выводы

Экспериментально установлено, что добавление гипохлорита кальция, лимонной кислоты, сульфанола и хлорамина в концентрациях 1, 10...20, 0,1 и 10 %масс соответственно способно повысить проникающую способность воды.

Водный раствор гипохлорита кальция в концентрации 1 %масс при подаче тонкораспыленной струей к экспериментальному очагу пожара класса А обладает огнетушащей способностью, превышающей такую способность воды на 16%. Водные растворы хлорамина и сульфанола в концентрациях 10 и 0,3 %масс соответственно при аналогичных условиях подачи огнетушащей способностью приблизительно в 2 раза выше, чем у воды.

Таким образом, целесообразно продолжить исследования способов модификации штатных огнетушащих веществ за счёт использования средств, применяемых подразделениями ГО МЧС России.

Список источников

1. Гражданская оборона / Под общ. ред. В.А. Пучкова; МЧС России. — М.: 2014. — С. 499 [Электронный ресурс]. — URL: <https://umctvr.ru/upload/iblock/fac/z56juiqqil56yhzmlvkb1afrjmyt7id.pdf> (дата обращения 11.12.2024).
2. Седнев В.А. Оценка сил и средств для тушения пожаров в населённых пунктах и методов их обоснования / Седнев В.А., Лопухова Н.В., Смуров А.В. // Технологии техносферной безопасности. — 2021. — № 1(91). — С. 95-106. — DOI 10.25257/TTS.2021.1.91.95-106.
3. Харин В.В. Исследование показателей оперативного реагирования и тушения пожаров подразделений пожарной охраны с помощью факторного анализа / Харин В.В., Кондашов А.А., Удавцова Е.Ю. [и др.] // Вестник НЦБЖД. — 2020. — №3 (45). — С. 132–141.
4. Пожары и пожарная безопасность в 2022 году: информ.- аналитич. сб. П 46, Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России. — 2023. — С. 80. [Электронный ресурс]. — URL: <https://ptm01.ru/assets/images/biblioteka/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0/2022/%D0%92%D0%9D%D0%98%D0%98%D0%9F%D0%9E/sbornik-2022-pogary.pdf> (дата обращения 11.12.2024).
5. Мещеряков И.В. Теоретическая оценка огнетушащего потенциала типовых дегазирующих растворов (сообщение № 1) / Мещеряков И.В., Алексеик Е.Б., Савельев Д.В. // Пожарная безопасность: современные вызовы. Проблемы и пути решения: Материалы Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 27 апреля 2023 года. — Санкт-Петербург: СПб УГПС МЧС России. — 2023. — С. 287-290.
6. Мещеряков И.В. Практическая оценка огнетушащего потенциала типовых дезинфицирующих, дегазирующих и дезактивирующих растворов на примере экспериментального очага пожара класса А / Мещеряков И.В., Алексеик Е.Б. // Естественные науки и пожаробезопасность: проблемы и перспективы исследований: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Ивановская ПСА ГПС МЧС России, 21 марта 2024 года. — Иваново: ИПСА ГПС МЧС РФ. — 2024. — С. 196-198.
7. Мещеряков И.В. Практическая оценка огнетушащего потенциала типовых дезактивирующих, дегазирующих и дезактивирующих растворов на примере экспериментального очага пожара класса Б / Мещеряков И.В., Алексеик Е.Б. // Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов: Сборник материалов XI Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 11 апреля 2024 года. — Иваново: ИПСА ГПС МЧС РФ. — 2024. — С. 232-234.
8. Обзор работы грузового железнодорожного транспорта // СРО союз операторов железнодорожного транспорта [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.railsovet.ru/upload/iblock/3cb/xo3eq65ps20pysdznij29l60fqmqouqj.pdf> (дата обращения 27.10.2024).
9. Meng J., Zhou Z., Wang, C. Lyu Y. Lyu Y. Liang B. Unveiling optimal wetting additives for extinguishing wood fires: Insights from molecular simulation and experimental investigations. Surfaces and Interfaces. — Vol. 44. — 2024. — С. 103805.

10. Huang C., Dai Z., Jiang Z., Chen Y., Zhong M. Wood stack fire tests to evaluate the influence of extinguishing medium and driving pressure on fire extinguishing efficacy of forest trees. *Thermal Science and Engineering Progress.* – Vol. 49. – 2024. – С. 102464.
11. Калинина В.Н., Панкин В.Ф. Математическая статистика: Учеб. для студ. сред. спец. учеб. заведений. – 4-е изд., испр. – М.: Дрофа. – 2002. – С.336.
12. Robinet A., Chetehouna K. A Review of Additives for Water Mist Fire Suppression Systems. *Fire Technol.* – Vol. 60. – 2024. – С. 2923–2961.
13. ГОСТ Р 51057-97 Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний. [Электронный ресурс]. – URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4294850/4294850299.pdf> (дата обращения 11.12.2024).

References

1. Civil Defense / Under the general editorship of V.A. Puchkov; EMERCOM of Russia. - М.: 2014. – pp. 499. [Electronic resource]. - URL: <https://umctvr.ru/upload/iblock/fac/z56juiqqil56yhzmlvkb1afrjmyt7id.pdf> (date of access 11.12.2024).
2. Sednev V.A. Assessment of forces and means for extinguishing fires in populated areas and methods for their justification / Sednev V.A., Lopukhova N.V., Smurov A.V. // *Technologies of technological safety.* – 2021. – №. 1(91). – pp. 95-106. – DOI 10.25257/TTS.2021.1.91.95-106.
3. Kharin V.V. Study of operational response and fire extinguishing indicators of fire departments using factor analysis / Kharin V.V., Kondashov A.A., Udavtsova E.Yu. [and others] // *Bulletin of the National Center for Railways.* – 2020. – №. 3(45). – pp. 132–141.
4. Fires and fire safety in 2022: information and analytical collection. P 46, Balashikha: FGBU VNIPO EMERCOM of Russia. – 2023. – pp. 80. [Electronic resource]. – URL: <https://ptm01.ru/assets/images/biblioteka/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0/2022/%D0%92%D0%9D%D0%98%D0%98%D0%9F%D0%9E/sbornik-2022-pogary.pdf> (accessed 11.12.2024).
5. Meshcheryakov I.V. Theoretical assessment of the fire extinguishing potential of typical degassing solutions (report №. 1) / Meshcheryakov I.V., Alekseik E.B., Savelyev D.V. // *Fire safety: modern challenges. Problems and solutions: Proceedings of the International scientific and practical conference, St. Petersburg, 27.04.2023.* – St. Petersburg: SPb UGPS EMERCOM of Russia. – pp. 287-290.
6. Meshcheryakov I.V. Practical assessment of the fire extinguishing potential of typical disinfecting, degassing and decontaminating solutions using the example of an experimental class A fire / Meshcheryakov I.V., Alekseik E.B. // *Natural sciences and fire safety: problems and research prospects: Collection of materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation, Ivanovo PSA GPS EMERCOM of Russia, 21.03.2024.* – Ivanovo: IPSA GPS EMERCOM of Russia. – pp. 196-198.
7. Meshcheryakov I.V. Practical assessment of the fire extinguishing potential of typical decontaminating, degassing and decontaminating solutions using the example of an experimental class B fire / Meshcheryakov I.V., Alekseik E.B. // *Current issues in improving engineering systems for ensuring fire safety of facilities: Collection of materials from the XI All-Russian scientific and practical conference, Ivanovo, 11.04.2024.* – Ivanovo: IPSA GPS EMERCOM of the Russian Federation. – pp. 232-234.
8. Review of Freight Railway Transport // SRO Union of Railway Transport Operators [Electronic resource]. – URL: <https://www.railsovet.ru/upload/iblock/3cb/xo3eq65ps20pysdznij29l60fqmqouqj.pdf> (accessed 27.10.2024).
9. Meng J., Zhou Z., Wang K., Liu Y., Liu Y., Liang B. Introducing Optimum Wetting Additives for Forest Fire Extinguishing: Results from Molecular Modeling and Experimental Studies. *Surfaces and Interfaces.* – Vol. 44. – 2024. – pp. 103805.
10. Huang Q., Dai Z., Jiang Z., Chen Y., Zhong M. Fire Testing of Wooden Stacks to Assess the Effects of Extinguishing Medium and Driving Pressure on the Extinguishing Efficiency of Forest Trees. *Thermal Science and Engineering Progress.* – Vol. 49. – 2024. – pp. 102464.
11. Kalinina V.M., Pankin V.F. Mathematical Statistics. Moscow: Drofa. – 2002. – pp.336.
12. Robinet A., Chetekhuna K. Review of additives for water mist fire extinguishing systems. *Fire Technol.* – Vol. 60. – 2024. – pp. 2923–2961.

13. GOST R 51057-97 Fire-fighting equipment. Portable fire extinguishers. General technical requirements. Test methods. [Electronic resource]. – URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4294850/4294850299.pdf> (date of access 11.12.2024).

Информация об авторах

А.С. Константинова – кандидат технических наук

Information about the author

A.S. Konstantinova – Ph.D. of Engineering Sciences

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 19.02.2025, одобрена после рецензирования 21.03.2025, принята к публикации 21.03.2025.

The article was submitted 19.02.2025, approved after reviewing 21.03.2025, accepted for publication 21.03.2025.