

Научная статья

УДК 656.13(1-21):621.43.06:504; DOI: 10.61260/1998-8990-2025-2-130-138

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО КАТАЛИЗА НЕЙТРАЛИЗАТОРА ПОЖАРНОЙ АВТОЦИСТЕРНЫ НА РЕЖИМАХ ПОДАЧИ ВОДЫ/ПЕНЫ

Гавкалюк Богдан Васильевич;

✉ Ложкин Владимир Николаевич.

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

✉ vnlojkin@yandex.ru

Аннотация. На основании критического анализа нагрузочных и термических условий работы дизельного двигателя пожарной автоцистерны в режимах ожидания выезда, движения и подачи воды/пены на пожар обосновывается комплексная методология повышения эффективности окислительного катализа путем применения принудительного электрического разогрева матриц блочного катализатора и рекуперации тепла отработавших газов аккумулятором фазового перехода. Теория оригинальной авторской методологии основана на фундаментальных отечественных разработках гетерогенного окислительного катализа и не противоречит передовой зарубежной практике. Способ повышения эффективности катализа протестирован на пожарных машинах. Приводятся положительные результаты экспериментальных исследований на опытных образцах конверторов-глушителей шума отработавших газов оригинальных конструкций для пожарных автоцистерн с дизелями КамАЗ.

Ключевые слова: пожарная автоцистерна с дизелем, каталитический конвертор, электроразогрев, аккумулятор тепла фазовых переходов, природоохранная эффективность

Для цитирования: Гавкалюк Б.В., Ложкин В.Н. Повышение эффективности окислительного катализа нейтрализатора пожарной автоцистерны на режимах подачи воды/пены // Проблемы управления рисками в техносфере. 2025. № 2 (74). С. 130–138. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-2-130-138

Scientific article

IMPROVING THE EFFICIENCY OF OXIDATIVE CATALYSIS OF A FIRE TRUCK NEUTRALIZER IN WATER/FOAM SUPPLY MODES

Gavkalyuk Bogdan V.;

✉ Lozhkin Vladimir N.

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

✉ vnlojkin@yandex.ru

Abstract. The article substantiates a comprehensive methodology for increasing the efficiency of oxidative catalysis by using forced electric heating of block catalyst matrices and exhaust gas heat recovery by a phase transition accumulator based on a critical analysis of the load and thermal conditions of a diesel engine of a fire truck in the standby, drive, and water/foam delivery modes. The theory of the original author's methodology is based on fundamental domestic developments in heterogeneous oxidative catalysis and does not contradict advanced foreign practice. The method for increasing the efficiency of catalysis has been tested on fire trucks. Positive results of experimental studies on prototypes of exhaust gas noise converters-mufflers of original designs for fire trucks with KAMAZ diesel engines are presented.

Keywords: diesel fire truck, catalytic converter, electric heating, phase transition heat accumulator, environmental efficiency

For citation: Gavkalyuk B.V., Lozhkin V.N. Improving the efficiency of oxidative catalysis of a fire truck neutralizer in water/foam supply modes // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2025. № 2 (74). P. 130–138. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-2-130-138.

Введение. Состояние проблемы

Пожарная техника, в частности пожарные автомобили (ПА), эксплуатируются в жестких, а при боевом тушении пожаров – в чрезвычайных условиях [1] на нагрузочных и скоростных режимах, принципиально отличающихся [2, 3] от эксплуатации автотранспортных шасси, на базе которых они спроектированы, в гражданских условиях. Авторы работ [1, 3] справедливо констатируют, что основным видом ПА в Российской Федерации являются пожарные автоцистерны (АЦ). Сегодня их парк составляет не менее 70 % от общей численности ПА основного и целевого применения [4].

По мнению авторитетных зарубежных исследователей [5], мобильная пожарная техника должна сегодня технологически адаптироваться к наблюдаемому росту «глобальной» пожарной активности [6] и к так называемым экологическим явлениям «тройного планетарного кризиса» [7]: загрязнению окружающей среды, потере биоразнообразия, изменению климата [8].

Среднестатистически режимы использования АЦ по прямому назначению в расчете на ликвидацию одного пожара можно характеризовать временными последовательными интервалами рис. 1 [1, 3] совокупного процесса.

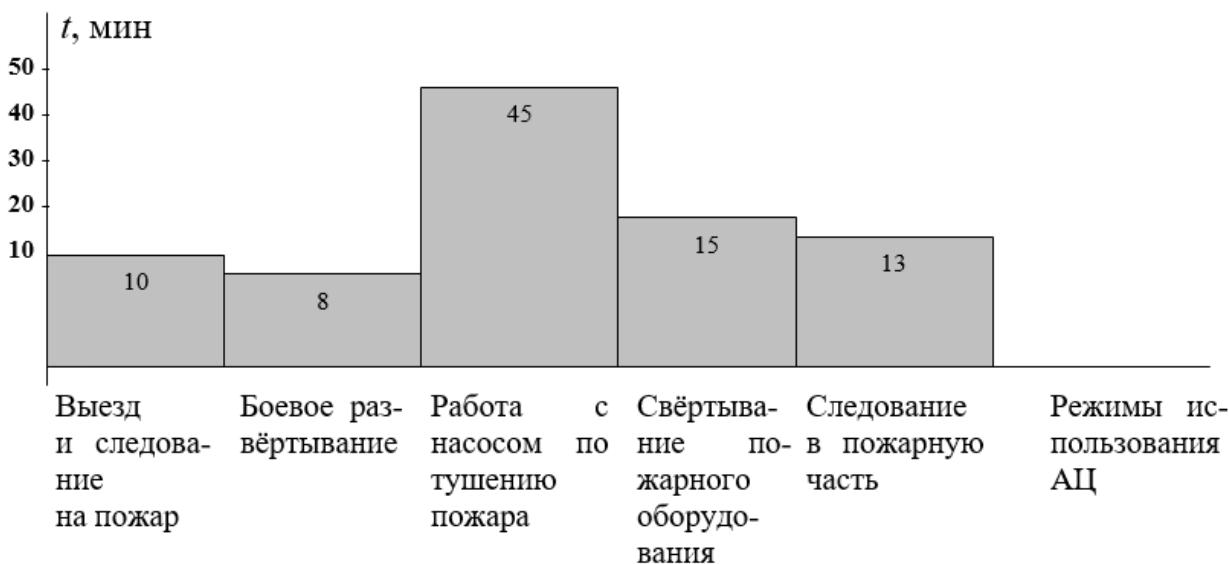


Рис. 1. Распределение среднего времени работы АЦ при реагировании на пожар [1, 3]

Проанализируем объективные и критичные с точки зрения выходных потребительских технико-экологических характеристик режимы работы двигателя при «боевом» применении АЦ.

На режиме ожидания выезда АЦ из части двигатель работает на холостых ходах «прогрева» его систем, на которых следует ожидать повышенные значения дымности отработавших газов (ОГ) и выбросов с ОГ поллютантов СО, СН, альдегидов [9].

На режимах выезда АЦ из части и движения на пожар ее работа начинается с «непрогретым» двигателем (выезд через 50–60 с после его запуска). «Городской цикл движения» [1, 3, 4] АЦ (самый короткий (рис. 1) – до 10–12 мин; со средними значениями протяженности маршрута до 7 км, скорости движения до 40 км/ч, температуры масла в двигателе и трансмиссии до 50–60 % от оптимальных значений) предъявляет самые

критичные, во многом противоречивые, требования к двигателю [2, 10]. Эти требования ввиду «разнородности» конструктивно-технологических способов их решения целесообразно выделить в две группы, а именно:

– обеспечение высоких скоростных и динамических характеристик движения АЦ к месту пожара;

– создание условий безопасного дорожного движения и наименьшей эмиссии с ОГ в среду проживания населения и оперативной работы огнеборцов поллютантов и «парниковых» газов.

Соблюдение перечисленных эксплуатационных свойств, предъявляемых сегодня к дизелю пожарной АЦ, может достигаться «компромиссным» сочетанием высокого уровня форсирования рабочего процесса сгорания по среднему эффективному давлению и частоте вращения коленчатого вала одновременно с поддержанием эффективных термических характеристик дизеля и агрегатов «ходовой части» АЦ, а также соблюдением требований экологических стандартов путем обезвреживания ОГ до места их выпуска в окружающую среду («среза» выпускной трубы за глушителем шума ОГ).

Шасси АЦ, маневрирующей на труднодоступных подъездах к пожару, должно обеспечивать высокие характеристики по проходимости и запасу мощности. Следует ожидать, что в таких экстремальных условиях двигатель может эксплуатироваться на всех режимах скоростной характеристики, включая режимы эксплуатационной мощности и максимального крутящего момента с высокими значениями дымности ОГ.

Наиболее продолжительный режим использования АЦ отвечает подаче на пожар воды/пены насосным агрегатом, приводимым двигателем, работающим на неблагоприятных для потребления топлива частичных нагрузках (рис. 1). Например, для насосного агрегата ПН-40УВ затрачиваемая дизелем мощность на его привод при подаче воды/пены не превышает значения 62,2 кВт [3] (рис. 2, кривая 3).

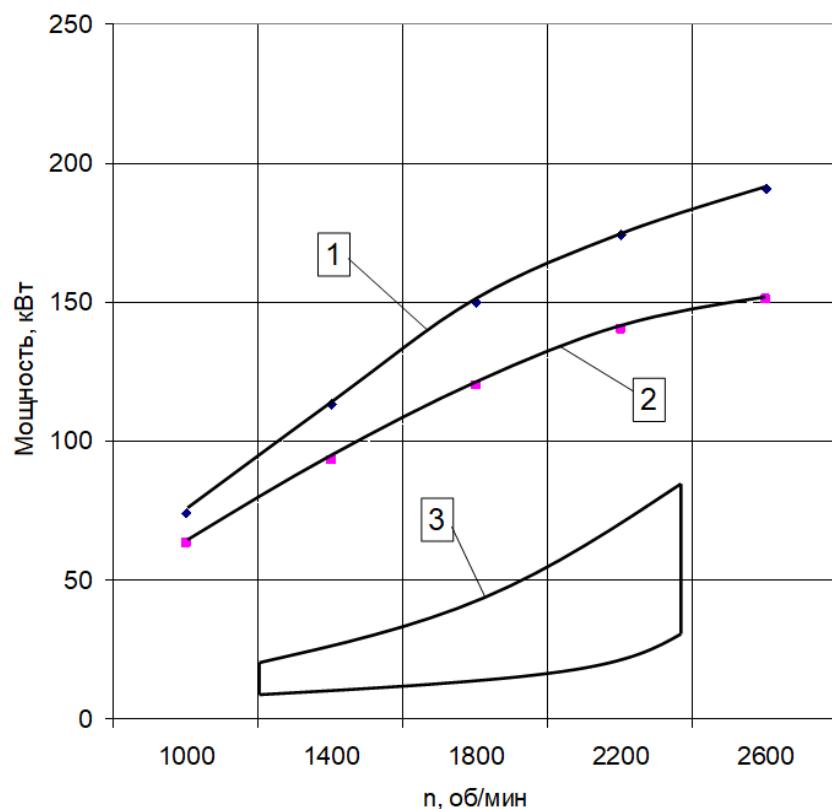


Рис. 2. Внешние скоростные характеристики двигателей КамАЗ-7403.10 (1) и КамАЗ-740.10 (2) и «сектор отбора мощности» для привода насосного агрегата ПН-40УВ (3) [3]

Исследования [2, 3] показали, что при подаче насосным агрегатом на пожар 40 л/с воды с развиваемым напором 100 м потребление топлива на совершение единицы полезной работы двигателем в сравнении с эквивалентным ему номинальным потреблением топлива окажется выше на 15 %. А при подаче 3,6 л/с воды с напором 50 м (на этот режим приходится в среднем 50 % времени совместной эксплуатации насосного агрегата и двигателя АЦ при тушении пожаров в Российской Федерации [1, 3]), превышение удельного эффективного расхода топлива в сравнении с номинальным значением может составить величину 70 %.

Проведя анализ состояния исследуемой проблемы, можно сделать следующие выводы:

1. При следовании к месту пожара и оперативном маневрировании АЦ на труднодоступных подъездах к пожару к двигателю ПА предъявляется требование форсирования рабочего процесса по среднему эффективному давлению и частоте вращения коленчатого вала. В таких условиях эксплуатации АЦ, по данным авторских исследований [2], можно ожидать высокую эффективность работы окислительного каталитического нейтрализатора ОГ.

2. При подаче пожарной АЦ воды/пены на пожар имеют место крайне неблагоприятные сочетания режимов совместной эксплуатации насосного агрегата и дизельного двигателя (рис. 2). Вместе с существенным ухудшением топливно-экономических показателей неблагоприятные термические условия работы каталитического нейтрализатора на этих режимах приведут к снижению его эффективности и повышенному выбросу с ОГ NO_x, CO, CH, альдегидов.

Объекты, методика и результаты исследования

На рис. 3 показана схема конвертора-глушителя для АЦ с двигателем КамАЗ.

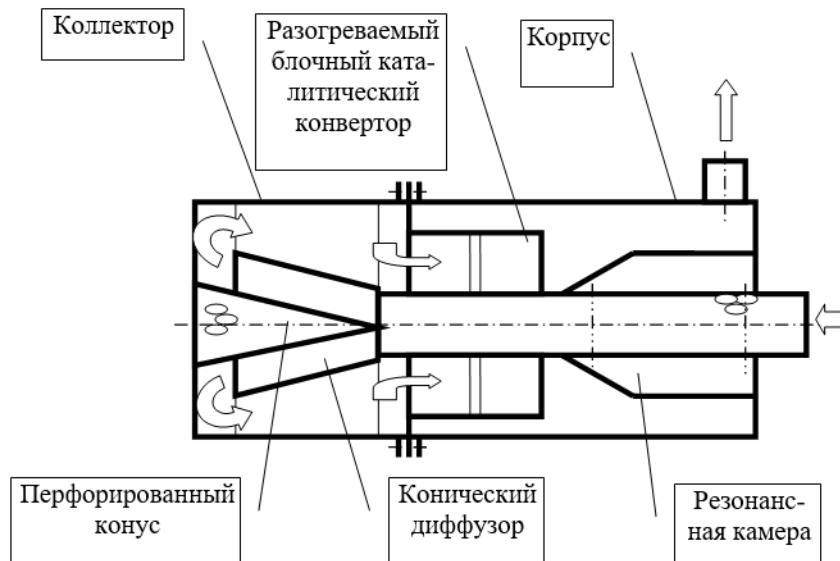


Рис. 3. Схема конвертора-глушителя для АЦ с дизелем КамАЗ-7403.10

Для повышения эффективности окислительного катализа в конверторе пожарной АЦ на режимах подачи воды/пены необходимо поддерживать рациональный баланс между подводимым и отводимым теплом в его реакторной зоне (рис. 3) на основе уравнения теплового баланса, выражающего закон сохранения энергии:

$$\Delta U_{\text{КАТ}} = \Delta Q_{\text{КАТ}} \pm \Delta Q_{\text{ОГ}} - \Delta Q_{\text{ОКР}} + \Delta Q_{\text{НАГР}}, \quad (1)$$

где ΔU_{KAT} – приращение внутренней энергии в каталитическом конверторе; ΔQ_{KAT} – теплота, выделяемая процессом окислительного катализа; ΔQ_{OG} – теплота, привносимая/уносимая с ОГ; ΔQ_{OKP} – теплота, «сбрасываемая» в окружающую среду; ΔQ_{HAGP} – теплота, подводимая к «блочным матрицам» конвертора путем электро-подогрева от аккумулятора АЦ.

Физический объект конвертор-глушитель (рис. 3) условно представляем гомогенной проточной термодинамической системой с рабочим телом ОГ, текущим в каналах блоков «сотовых матриц». В качестве «контрольной поверхности» модельной расчетной системы принимаем геометрические обводы корпуса конвертора-глушителя (рис. 3).

Уравнение для приращения внутренней энергии ΔU_{KAT} в соответствии с первым началом термодинамики записываем как:

$$\Delta U_{KAT} = q = (i_2 - i_1) + \frac{w_2^2 - w_1^2}{2}, \quad (2)$$

где $q = \frac{Q_\tau}{G}$ – теплота, переносимая с единицей массы ОГ, Дж/кг. Она определяется отношением переносимой с ОГ теплоты за единицу времени $Q_\tau = \frac{\delta Q}{dt}$ (Вт) к расходу ОГ $G = \frac{\delta m}{dt}$ (кг/с); $i_{1,2} = C_p \cdot T_{1,2}$ – значение энталпии ОГ, кДж/кг; C_p – теплоемкость ОГ при постоянном давлении, кДж/(кг·К); $T_{1,2}$ – температура ОГ, К; w_1, w_2 – скорости течения ОГ, соответственно, во входном и выходном патрубках конвертора-глушителя (рис. 3), м/с.

При равенстве площадей поперечных сечений упомянутых каналов $w_1 = w_2$:

$$\Delta U_{KAT} = G(i_2 - i_1). \quad (3)$$

В общем случае тепло, переносимое с ОГ, ΔQ_{OG} , зависит от:

- способа организации рабочего процесса в двигателе; его конструкции;
- технического состояния, режима работы и качества топлива.

Перечисленные параметры определяют количество, состав и температуру ОГ, а они, в свою очередь, позволяют на основе уравнения теплового баланса двигателя АЦ получить соотношение для оценки интенсивности теплового потока, уносимого из конвертора-глушителя в атмосферу:

$$Q_{OG} = (G_T + G_B)c_p(t_G - t_0), \quad (4)$$

где G_T и G_B – потребление топлива и воздуха, кг/ч; t_G и t_0 – температуры ОГ и атмосферного воздуха, соответственно, °С.

Теплота, вносимая в конвертор-глушитель с ОГ, ΔQ_{OG} , будет меньше значения Q_{OG} на величину тепловых потерь в системе выпуска ОГ от цилиндров двигателя до конвертора-глушителя. Она, очевидно, будет определяться конструкцией системы отвода ОГ базового шасси пожарной АЦ.

В практических задачах для расчета ΔQ_{OG} можно рекомендовать уравнение (4), заменяя в нем $(G_T + G_B)$ на интенсивность потока ОГ через конвертор-глушитель, G_{OG} , и вместо t_G и t_0 взять, соответственно, температуру ОГ на входе в конвертор-глушитель (T_I) и температуру его корпуса (T_{KH}). Тогда:

$$\Delta Q_{OG} = G_{OG} \cdot c_p \cdot (T_I - T_{KH}). \quad (5)$$

В практических задачах оценки генерации тепла в каталитическом реакторе конвертора-глушителя от сгорания СО (q_{CO}), СН (q_{CH}) и сажи (q_C) рекомендуются уравнения:

$$q_{CO} = (G_{CO}^{Д0} - G_{CO}^{\text{после}}) \cdot H_{CO} \cdot 10^{-3}, \text{ кДж/ч}; \quad (6)$$

$$q_{CH} = (G_{CH}^{Д0} - G_{CH}^{\text{после}}) \cdot H_{CH} \cdot 10^{-3}, \text{ кДж/ч}; \quad (7)$$

$$q_C = (G_C^{Д0} - G_C^{\text{после}}) \cdot H_C \cdot 10^{-3}, \text{ кДж/ч}, \quad (8)$$

в которых $G_i^{\text{до}}$, $G_i^{\text{после}}$ – расход горючего вещества до и после конвертора-глушителя, г/ч; H_i – «низшая теплотворная способность» окисления вещества, кДж/кг. Общий тепловой эффект реакций окислительного катализа:

$$\Delta Q_{\text{КАТ}} = q_{\text{CO}} + q_{\text{CH}} + q_C, \text{ кДж/ч.} \quad (9)$$

Приращение тепла ОГ электрическим разогревом матриц от аккумулятора АЦ ($\Delta Q_{\text{НАГР}}$), являясь остаточным членом соотношения (1), приобретает смысл при:

$$\Delta Q_{\text{КАТ}} \pm \Delta Q_{\text{ОГ}} - \Delta Q_{\text{ОКР}} < \Delta U_{\text{КАТ}}. \quad (10)$$

Уравнения (1–10) рекомендуется использовать в инженерных расчетах при проектировании конверторов-глушителей пожарных АЦ с учетом применения в них принудительного электрического разогрева матриц блочного катализатора от бортового аккумулятора для повышения эффективности обезвреживания ОГ в условиях подачи воды/пены на пожар.

В табл. 1 приведены результаты испытаний опытного образца конвертора-глушителя, показанного на рис. 3, а в табл. 2 – технические характеристики измерительного оборудования.

Таблица 1

**Результаты испытаний опытного конвертора-глушителя ОГ
на АЦ-5-40(43101) ПМ-524 с двигателем КамАЗ**

№ п/п	Режим испытания	Температура ОГ на входе, °C	Температура ОГ на выходе, °C	Температура катализитических блоков, °C	Дымность ОГ			Концентрация в ОГ СО, %			Концентрация СН, млн⁻¹		
					Без разогрева	С разогревом	Эффективность, %	Без разогрева	С разогревом	Эффективность	Без разогрева	С разогревом	Эффективность, %
1	n _{min xx}	100	110	400	-	-	-	0,2	0,03	85,0	53	12	76
2	n _{max xx}	110	130	350	15	10	33,3	0,3	0,05	80,0	95	21	83
3	Режим ускорения	-	-	350	55	50	9,1	-	-	-	-	-	-

Таблица 2

Технические характеристики измерительного оборудования

№ п/п	Измеряемый параметр	Марка прибора	Единица измерения	Диапазон измерения	Погрешность измерения
1	Температура ОГ на входе в установку	Термопара хромель-алюмель, показывающий прибор МПЩПр-54М	°C	0-800	± 10 °C
2	Температура ОГ на выходе из установки	Термопара хромель-алюмель, показывающий прибор МПЩПр-54М	°C	0-1100	± 10 °C
4	Содержание СО в ОГ	Газоанализатор BECKMAN 590	%	0-5 0-10	2 %
5	Содержание СН		млн⁻¹	0-400 0-2000	2 %
6	Дымность	Измеритель дымности КИД-2	%	0-100	2,5 %

Как видно из табл. 1, разогрев матриц реактора существенно повышает эффективность окислительного катализа при низких температурах ОГ АЦ.

Ранее было отмечено, что на таких режимах эксплуатации пожарной АЦ, как: следовании к месту пожара (по городскому ездовому циклу) и оперативном маневрировании на труднодоступных подъездах к пожару, двигатель будет работать в широком диапазоне изменения нагрузок/оборотов и, следовательно, потребуется адекватная оптимизация термического состояния окислительного каталитического нейтрализатора ОГ. Эта задача решается авторами путем совместной и согласованной работы двух систем: аккумулятором тепла ОГ фазового перехода и каталитическим конвертором-глушителем шума, конструктивно объединенных в одном агрегате. В исследованиях [3, 12] детально излагаются разработанные авторами настоящей статьи принципы, модели, инженерные методики расчета конструкций и положительные результаты испытаний этих эффективных устройств.

Заключение

Применительно к реальным условиям эксплуатации отечественных АЦ с дизельными двигателями КамАЗ разработаны оригинальные научно-технические решения, направленные на существенное повышение эффективности окислительного катализа, встроенным в систему выпуска ОГ, агрегата оригинальной конструкции. Агрегат реализует совместную и согласованную работу теплового аккумулятора тепла ОГ фазового перехода и конвертора-глушителя с принудительным электрическим разогревом сотовых матриц блочного каталитического реактора от бортового аккумулятора. Выполненным комплексом научно-методических, расчетных и экспериментальных работ авторами доказана эффективность оригинальных технологических решений по обезвреживанию ОГ пожарных АЦ от CO, CH, NO_x, PM, альдегидов на актуальных режимах их оперативной эксплуатации: следовании к месту ЧС и тушении пожара с подачей центробежным насосом воды/пены.

Список источников

1. Мобильная пожарная техника: эволюция и перспективы развития / Д.Г. Мичудо [и др.] // Пожарная безопасность. 2012. № 2. 142–149. EDN RIJAOX.
2. 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. EDN VRCPVS.
3. Сацук И.В. Закономерности распределения и технического состояния эксплуатируемых пожарных автомобилей по показателям конструктивной безопасности силовых установок // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2022. № 2 (25). С. 31–38. EDN FOUBPE.
4. Этапы и направления создания и производства пожарных автомобилей в современной России / В.И. Логинов [и др.] // Пожарная безопасность. 2022. № 2 (103). С. 51–59. DOI: 10.37657/vniiro.pb.2021.49.96.006.
5. Technological employment of fire-fighting adapter to increase the efficiency of extinguishing forest fires / M. Hnilicová [et al.] // Central European Forestry Journal. 2022. № 68 (4). P. 471–486. DOI: 10.2478/forj-2022-0009.
6. Global emergence of anthropogenic climate change in fire weather indices / J.T. Abatzoglou [et al.] // Geophysical Research Letters. 2019. № 46. P. 326–336. DOI: 10.1029/2018GL080959.
7. Life-cycle assessment to guide solutions for the triple planetary crisis / S. Hellweg [et al.] // Nature reviews earth: & Environment: SpringerNature. 2023. Vol. 4. Iss. 7. P. 471–486. DOI: 10.1038/s43017-023-00449-2.

8. Научно обоснованный прогноз адаптации сектора автомобильного транспорта к вероятным последствиям изменения климата и возможные сценарии его декарбонизации в Российской Федерации: монография / Ю. Трофименко [и др.]. М.: ООО «Центр транспортных инноваций», Центр энергетики Московской школы управления СКОЛКОВО, 2022. 134 с.

9. Ложкина О.В., Онищенко И.А. Методика оценки выбросов опасных компонентов отработавших газов при пуске и прогреве двигателей автотранспортных средств в климатических условиях Арктики // Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. 2020. № 3. С. 30–37. EDN EUMVIW.

10. Real world CO₂ and NO_x emissions from 149 Euro 5 and 6 diesel, gasoline and hybrid passenger cars / Rosalind O'Driscoll [et al.] // Science of The Total Environment. 2018. Vol. 621. № 15. P. 282–290. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.11.271.

11. Measurement of Gaseous Exhaust Emissions of Light-Duty Vehicles in Preparation for Euro 7: A Comparison of Portable and Laboratory Instrumentation / V. Valverde [et al.] // Energies 2023. № 16. P. 2561. DOI: 10.3390/en16062561.

12. Ложкин В.Н. Обоснование ожидаемой экологической эффективности оригинального устройства «аккумулятор тепла фазового перехода + каталитический нейтрализатор» для дизельных городских автобусов // 9-е Луканинские чтения. Проблемы и перспективы развития автотранспортного комплекса: сб. докладов Междунар. науч.-техн. конференции. М., 2021. С. 535–544. EDN FPRRNLL.

References

1. Mobil'naya pozharnaya tekhnika: evolyuciya i perspektivy razvitiya / D.G. Michudo [i dr.] // Pozharnaya bezopasnost'. 2012. № 2. 142–149. EDN PIJAOX.
2. Gavkalyuk B.V., Lozhkin V.N., Smirnov A.S. Teoriya i praktika obespecheniya bezopasnosti primeniya v usloviyah chrezvychajnyh situacij silovyh ustyanovok pozharnyh avtomobilej 4-5 pokolenij // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2023. № 2 (66). S. 8–15. EDN: VRCPVS.
3. Sacuk I.V. Zakonomernosti raspredeleniya i tekhnicheskogo sostoyaniya ekspluatiruemyh pozharnyh avtomobilej po pokazatelyam konstruktivnoj bezopasnosti silovyh ustyanovok // Sibirskij pozharno-spasatel'nyj vestnik. 2022. № 2 (25). S. 31–38. EDN FOUBPE.
4. Etapy i napravleniya sozdaniya i proizvodstva pozharnyh avtomobilej v sovremennoj Rossii / V.I. Loginov [i dr.] // Pozharnaya bezopasnost'. 2022. № 2 (103). S. 51–59. DOI: 10.37657/vniipo.pb.2021.49.96.006.
5. Technological employment of fire-fighting adapter to increase the efficiency of extinguishing forest fires / M. Hnilicová [et al.] // Central European Forestry Journal. 2022. № 68 (4). P. 471–486. DOI: 10.2478/forj-2022-0009.
6. Global emergence of anthropogenic climate change in fire weather indices / J.T. Abatzoglou [et al.] // Geophysical Research Letters. 2019. № 46. P. 326–336. DOI: 10.1029/2018GL080959.
7. Life-cycle assessment to guide solutions for the triple planetary crisis / S. Hellweg [et al.] // Nature reviews earth: & Environment: SpringerNature. 2023. Vol. 4. Iss. 7. P. 471–486. DOI: 10.1038/s43017-023-00449-2.
8. Nauchno obosnovannyj prognoz adaptacii sektora avtomobil'nogo transporta k veroyatnym posledstviyam izmeneniya klimata i vozmozhnye scenarii ego dekarbonizacii v Rossijskoj Federacii: monografiya / Yu. Trofimenko [i dr.]. M.: ООО «Центр транспортных инноваций», Центр энергетики Московской школы управления СКОЛКОВО, 2022. 134 с.
9. Lozhkina O.V., Onishchenko I.A. Metodika ocenki vybrosov opasnyh komponentov otrobotavshih gazov pri puske i progreve dvigatelej avtotransportnyh sredstv v klimaticeskikh usloviyah Arktiki // Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta GPS MCHS Rossii. 2020. № 3. S. 30–37. EDN EUMVIW.

10. Real world CO₂ and NO_x emissions from 149 Euro 5 and 6 diesel, gasoline and hybrid passenger cars / Rosalind O'Driscoll [et al.] // Science of The Total Environment. 2018. Vol. 621. № 15. P. 282–290. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.11.271.
11. Measurement of Gaseous Exhaust Emissions of Light-Duty Vehicles in Preparation for Euro 7: A Comparison of Portable and Laboratory Instrumentation / V. Valverde [et al.] // Energies 2023. № 16. P. 2561. DOI: 10.3390/en16062561.
13. Lozhkin V.N. Obosnovanie ozhidaemoj ekologicheskoy effektivnosti original'nogo ustrojstva «akkumulyator tepla fazovogo perekhoda + kataliticheskij nejtralizator» dlya dizel'nyh gorodskih avtobusov // 9-e Lukaninskie chteniya. Problemy i perspektivy razvitiya avtotransportnogo kompleksa: sb. dokladov Mezhdunar. nauch.-tekhn. konferencii. M., 2021. S. 535–544. EDN FP RRNL.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 02.04.2025; одобрена после рецензирования: 12.05.2025; принята к публикации: 14.05.2025

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 02.04.2025; approved after review: 12.05.2025; accepted for publication: 14.05.2025

Информация об авторах:

Гавкалюк Богдан Васильевич, начальник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, доцент, e-mail: rector@igps.ru, SPIN-код: 6390-5867

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, SPIN-код: 9496-2451

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), doctor of technical sciences, associate professor, e-mail: rector@igps.ru, SPIN: 6390-5867

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, SPIN: 9496-2451