

Научная статья
УДК 656.13:614.846.6
doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2024.66.36.017

Теоретическая модель диагностирования силовых установок пожарных автомобилей по критериям конструктивной (пожарной) безопасности

Иван Владимирович Сацук

*Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Железногорск, Россия
Автор ответственный за переписку: Иван Владимирович Сацук, Kviteren@gmail.com*

Аннотация. В статье рассмотрена важность исправного состояния пожарных автомобилей с учетом развития городской инфраструктуры, проведен анализ научных трудов по диагностированию двигателей и систем нейтрализации отработавших газов, а так же взаимосвязь датчиков и исполнительных механизмов современной пожарной автоцистерны по соблюдению требований экологической и пожарной безопасности. По результатам проведенных исследований предложено использование теоретической модели диагностирования пожарных автомобилей по зависимости дымности отработавших газов и общего пробега транспортного средства, а так же совершенствование методики проверки на дымность.

Ключевые слова: пожарный автомобиль, силовая установка, конструктивная безопасность, диагностика, дымность

Для цитирования: Сацук И.В. Теоретическая модель диагностирования силовых установок пожарных автомобилей по критериям конструктивной безопасности // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2024. № 1 (32). С. 160-168. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.66.36.017>

Благодарности: автор выражает благодарность научному руководителю доктору технических наук, профессору, профессору кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России» Владимиру Николаевичу Ложкину.

Original article

Theoretical model for diagnosing power plants of fire trucks based on structural (fire) safety criteria

Ivan V. Satsuk

Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russia

Abstract. The article discusses the importance of the good condition of fire trucks taking into account the development of urban infrastructure, analyzes scientific works on diagnosing engines and exhaust gas aftertreatment systems, as well as the relationship of sensors and actuators of a modern fire tanker to comply with environmental and fire safety requirements. Based on the results of the research, it was proposed to use a theoretical model for diagnosing fire trucks based on the dependence of exhaust gas smoke and the total mileage of the vehicle, as well as improving the testing methodology for smoke.

Keywords: fire trucks, power plant, structural safety, diagnostics, smokiness

For citation: Satsuk I.V. Theoretical model for diagnosing power plants of fire trucks based on structural safety criteria // Siberian Fire and Rescue Bulletin 2024. № 1 (32). P. 160-168. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.66.36.017>

Acknowledgments: the author expresses gratitude to Vladimir Nikolaevich Lozhkin, Scientific advisor, Doctor of Engineering Sciences, Full Professor, Professor of the Department of Fire, Emergency Rescue Equipment and Automotive Industry of the Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia

Введение.

Развитие городской инфраструктуры и применение новых инженерных решений строительства зданий в современных мегаполисах значительно сказывается на вопросах обеспечения пожарной безопасности. В решении этого вопроса существенную роль играет материально-техническое оснащение подразделений пожарной охраны, в том числе исправность и безопасность эксплуатации современных мобильных средств пожаротушения.

Не соответствие требованиям эксплуатационных, нормативно-технических и конструкторских документов на образцы пожарной техники может привести не только к экологическому ущербу от выбросов в атмосферу вредных веществ с отработавшими газами (далее – ОГ) мобильных средств пожаротушения и повышению их пожарной опасности, но и отказам систем безопасности с переходом на аварийный режим эксплуатации, что может привести к невыполнению основных задач по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ [1].

Состояние проблемы.

Анализ научных работ, посвященных созданию модели диагностирования современных автомобилей по критериям пожарной и экологической безопасности, показал большое количество исследований в данной области, предлагая использовать для оценки пожарной опасности транспортных средств зависимость состава ОГ и температуры протекания процесса катализа в корпусе глушителя-нейтрализатора [2], для оценки технического состояния использовать зависимость массового расхода ОГ и расхода топлива [3], использовать зависимость тепловыделения в цилиндре двигателя и состава ОГ для снижения концентрации выброса вредных веществ в атмосферу [4].

При этом действующие нормы контроля экологической безопасности [5] для пожарных автомобилей 5го экологического класса обязывают производителей транспортных средств устанавливать системы нейтрализации ОГ, системы бортовой диагностики с контролем уровня выбросов вредных веществ в атмосферу.

Для соблюдения требований экологической безопасности на примере пожарной автоцистерны 2020 года выпуска АЦ-6,0-40 (5557), выполненной на базе шасси УРАЛ-5557 с четырехтактным дизельным двигателем ЯМЗ-53623 с рабочим объемом 6650 см³ и номинальной мощностью 176,5 кВт, применяются системы рециркуляции ОГ и нейтрализации ОГ с системой селективного каталитического восстановления, схема работы которого представлена на Рис. 1 [6].

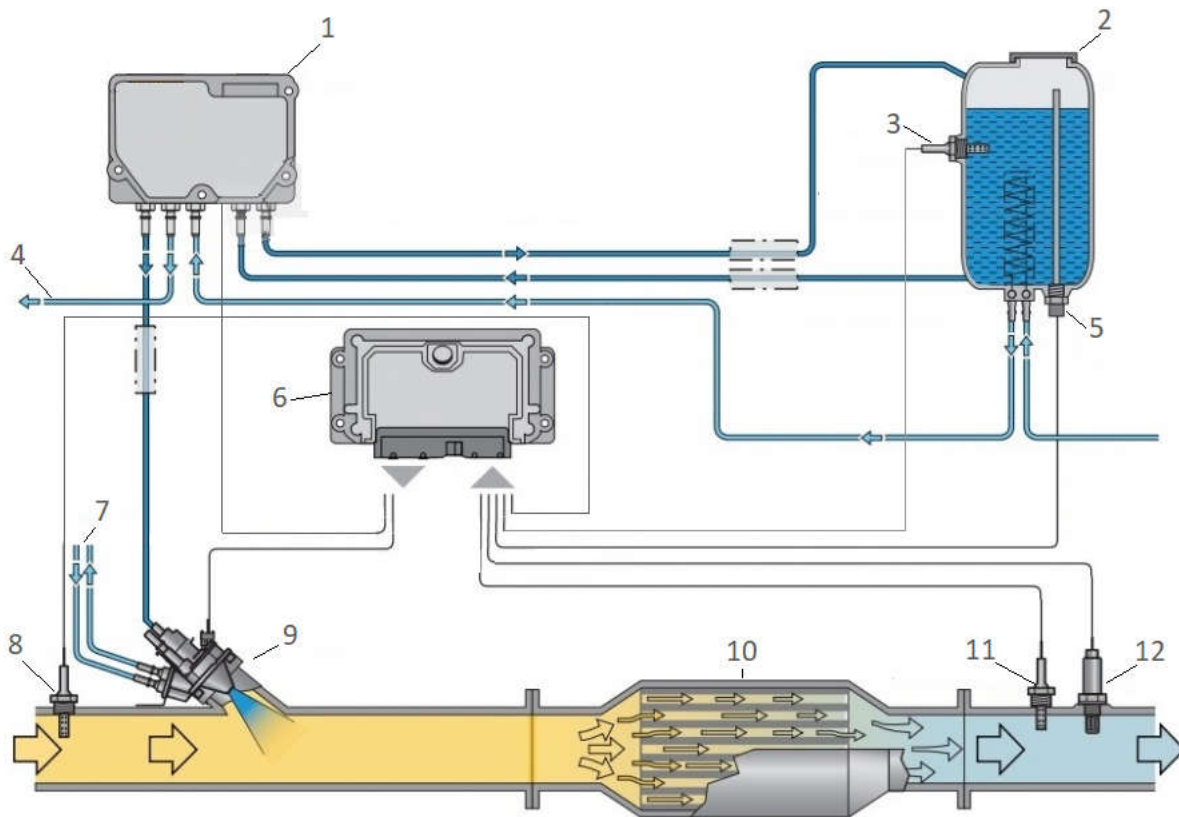


Рис. 1. Схема работы системы нейтрализации ОГ

1 – дозирующий модуль; 2 – бак с мочевиной; 3 – датчик температуры; 4, 7 – контур системы охлаждения для подогрева мочевины; 5 – датчик уровня; 6 – электронный блок управления двигателем EDC-7 с интерфейсным блоком БДИ1М; 8 – датчик температуры; 10 – глушитель-нейтрализатор; 11 – керамический датчик дифференциального давления сажевого фильтра; 12 – датчик оксидов азота

Датчик оксидов азота (далее – NOx) определяет процентное содержание кислорода в ОГ, по результатам которого электронный блок управления оценивает эффективность работы восстановительного катализатора и по показаниям других датчиков и исполнительных механизмов контролирует выбросы NOx с ОГ [7].

В соответствии с требованием правил [8] система контроля эмиссии сигнализирует водителю о наличии неисправности при отклонении выбросов NOx более 5 г/кВт·ч, а в случае превышения порогового значения выбросов NOx более 7 г/кВт·ч и твердых частиц более 0,1 г/кВт·ч с последующей эксплуатации транспортного средства с имеющейся неисправностью в течении 50 часов, система контроля эмиссии может ограничить крутящий момент двигателя до 60% от номинального вращения [6].

Для согласования работы электронного блока управления двигателем EDC-7, блока управления системой очистки выхлопных газов и панелью приборов автотранспортного средства используется блок двигателя интерфейсный БДИ1М. Он собирает информацию с датчиков, обрабатывает ее в соответствии с запрограммированным алгоритмом, после чего выдает управляющие и сигнализирующие сигналы [9].

Система рециркуляции ОГ использует до 20% ОГ, величина которых регулируется автоматически механической заслонкой с пневмоэлектрическим приводом через электронный блок управления. Для работы этой системы используют датчик давления и температуры наддувочного воздуха, а так же датчик положения заслонки рециркуляции ОГ [7].

Для коррекции цикловой подачи, расчета момента начала впрыска и количества впрыскиваемого топлива, определяемым за счет баланса расхода топлива через форсунки и производительностью топливного насоса, используют датчики частоты вращения коленчатого вала; частоты вращения распределительного вала; давления и температуры топлива;

температуры охлаждающей жидкости; атмосферного давления воздуха; тензорезистивный датчик давления топлива в рампе и дозирующее устройство с электромагнитным клапаном [7].

Выполненный анализ существующих методик двигателей транспортных средств по критериям конструктивной безопасности, связанных с концентрацией вредных веществ в ОГ и анализ взаимодействия различных систем пожарной автоцистерны, направленных на снижение ее экологической и пожарной опасности, показал, что для диагностики технического состояния пожарных автомобилей возможно использовать датчики контроля параметров работы двигателя и его систем, при этом для определения концентрационных значений массы сажи и дымности, являющихся критерием оценки технического состояния, необходимо использовать дымомеры, так как электронный блок управления сигнализирует о неисправности только при превышении пороговых значений.

При этом существует ряд неисправностей, такие как: загрязнение фильтрующего элемента воздушного фильтра, негерметичность системы впуска воздуха, негерметичность системы выпуска, соприкосновение колеса компрессора с отложениями на корпусе, наличие большого количества масла или конденсата в охладителе наддувочного воздуха, неисправность турбокомпрессора, форсунок и системы рециркуляции ОГ; превышение от номинального уровня масла в масляном фильтре; износ манжет стержней и втулок впускных клапанов, гильз, поршней и поршневых колец; применение топлива низкого качества и недостаточная компрессия в цилиндрах двигателя, которые существенны в рамках эксплуатации пожарных автомобилей, приводят к повышению дымности автомобиля, но могут не привести к превышению пороговых значений алгоритма работы электронного блока управления [10].

Объекты и методика исследования

Методика предполагала:

- выявить закономерности технического состояния двигателей современных пожарных автомобилей по изменению видимой дисперсии жидких и (или) твердых частиц в ОГ, образовавшаяся в результате неполного сгорания топлива и испарившегося масла в цилиндрах дизельного двигателя;
- обосновать использование новых стандартизованных процедур контроля дымности для идентификации неисправностей и диагностики технического состояния.

Для выявления закономерности технического состояния двигателей современных пожарных автомобилей по дымности использовался метод множественных измерений и линейной аппроксимации методом наименьших квадратов зависимости общего пробега пожарного автомобиля от дымности их ОГ.

Для оценки зависимости технического состояния автоцистерны от дымности ОГ использовался общий пробег автомобиля, который складывается из пробега пожарной автоцистерны по одометру и приведенного пробега. Приведенный пробег отражает наработку двигателя при передаче крутящего момента на пожарный насос, и рассчитывается по утвержденной [11] зависимости как 1 моточас работы пожарного насоса равный 40 км пробега.

Объектом исследования было техническое состояние однотипных пожарных автоцистерн на базе шасси УРАЛ-5557 с двигателем ЯМЗ-53623 пожарно-спасательных частей г. Красноярск, г. Ачинск, г. Березовка и пгт. Емельяново Красноярского края.

Для выявления неисправностей и технического состояния использовалась эксплуатационная документация на пожарные автомобили и проверка фактического состояния на соответствие технической документации заводов-изготовителей.

В рамках проверки пожарных автомобилей на дымность использовалась стандартизованная методика [12] с использованием измерителя дымности ОГ «МЕТА-01 МП 0.1», которая заключалась в создании 6 циклов свободного ускорения коленчатого вала двигателя, путем своевременного периодического нажатия на электронную педаль акселератора пожарной автоцистерны с замером наибольшей дымности каждого цикла.

Для расчета погрешности измерений дымности пожарных автомобилей использовалась методика расчета колеблемости (вариации) признака [14].

Результаты исследования и статистическая обработка данных

Системы выпуска и нейтрализации ОГ были исправны, а на панели приборов и выключателей пожарных автоцистерн отсутствовала индикация о каких-либо неисправностях автомобиля, согласно эксплуатационной документации все пожарные автомобили своевременно проходили техническое обслуживание, у одного автомобиля проводился текущий ремонт маховика сцепления.

Общие сведения о пожарных автоцистернах на момент проведения проверки и результаты измерений представлены в Табл.1.

Табл. 1 Сведения о пожарных автоцистернах на момент проведения проверки и результаты измерений дымности

Общие сведения о пожарной машине		Учет работы машины с начала эксплуатации		Результаты измерения дымности, м ⁻¹	Допустимое значение дымности по ГОСТ [12], м ⁻¹
Марка и модель машины	Дата ввода в эксплуатацию	Пробег по одометру, км	Приведенный пробег, км		
АЦ 6.0-70 (5557)	11.05.2018	18342	20964,8	0,41	1,5
АЦ 6.0-70 (5557)	27.02.2019	11438	6782,8	0,38	1,5
АЦ-6.0-70 (5557)	20.11.2020	5400	1269,2	0,23	1,5
АЦ-6.0-70 (5557)	20.11.2020	4010	814,4	0,28	1,5
АЦ-6,0-40 (5557)	13.11.2020	2041	4120	0,25	1,5
АЦ-6,0-70 (5557)	29.09.2019	10921	11522,8	0,39	1,5
АЦ-6,0-40 (5557)	13.11.2020	3721	610	0,22	1,5
АЦ-6,0-70 (5557)	12.09.2018	43753	22743,6	0,44	1,5
АЦ-6,0-40 (5557)	13.11.2020	2881	532,8	0,24	1,5
АЦ-6,0-70 (5557)	22.08.2018	8902	6628,8	0,3	1,5
АЦ-6,0-70 (5557)	09.01.2019	15661	6940	0,28	1,5
АЦ-6,0-40 (5557)	31.12.2020	4266	936	0,25	1,5

Полученные результаты при помощи программы для работы с электронными таблицами были аппроксимированы методом наименьших квадратов с построением графика зависимости дымности от общего пробега, представленного на Рис. 2.

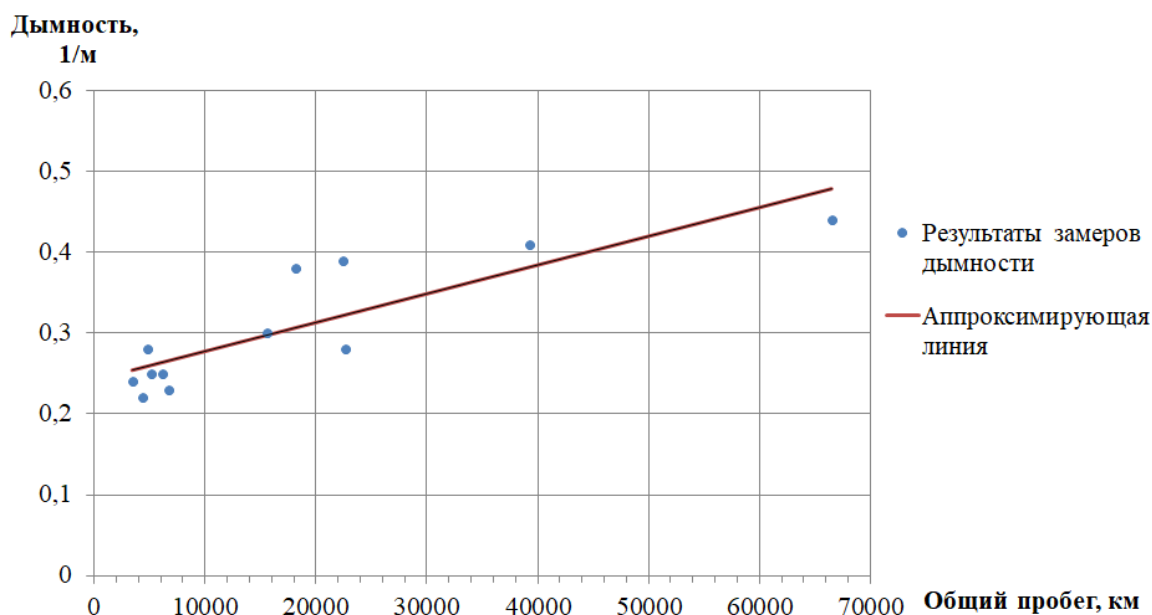


Рис. 2. График зависимости дымности пожарной автоцистерны от общего пробега

Линейная аппроксимация значений показала следующую зависимость:

$$k = 3,556 * 10^{-6} * S_{\text{общ}} + 0,2421 \quad (1)$$

где:

k – ожидаемое значение дымности пожарной автоцистерны, м-1;

$S_{\text{общ}}$ – общий пробег пожарной автоцистерны, км.

На графике прослеживается значительная дисперсия результатов замера дымности при схожих параметрах общего пробега, что может быть связано как с реальным техническим состоянием пожарной автоцистерны, так и с погрешностью проведения измерений за счет субъективности восприятия временных параметров проведения мероприятий стандартизированной методики проверки транспортного средства на дымность [12] водителем-диагностом.

В рамках выявления погрешности измерений водителем-диагностом на пожарной автоцистерне АЦ-6,0-40 (5557) 2020 года выпуска с общим пробегом 11847 км, стоящей на вооружении учебной пожарно-спасательной части ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, проведены множественные измерения дымности ОГ.

Испытания проводились 10 раз, при этом для контроля базового отсчета и коррекции нуля дымомера, а также естественной вентиляции измерительного канала, после каждого шести циклов свободного ускорения коленчатого вала двигателя производился вынос оптического датчика дымомера из зоны действия ОГ на 60 секунд.

Итоговые результаты замеров и промежуточные расчетные значения колеблемости признака сведены в Табл. 2.

Табл. 2 Итоговые результаты замеров дымности при проведении эксперимента и вычислений

Порядковый номер испытания, n	Дымность, м ⁻¹	Допустимое значение дымности по ГОСТ [12], м ⁻¹	Линейное отклонение, м ⁻¹	Квадратическое отклонение, м ⁻²
1	0,41	1,5	0,127	0,016129
2	0,26	1,5	0,023	0,000529
3	0,29	1,5	0,007	0,000049
4	0,3	1,5	0,017	0,000289
5	0,27	1,5	0,013	0,000169
6	0,3	1,5	0,017	0,000289
7	0,28	1,5	0,003	0,000009
8	0,25	1,5	0,033	0,001089
9	0,25	1,5	0,033	0,001089
10	0,22	1,5	0,063	0,003969
Итого	2,83	-	0,336	0,156

Средние арифметические значения дымности (\bar{k}):

$$\bar{k} = \frac{\sum k_n}{n} = \frac{2,83}{10} = 0,283 \text{ м}^{-1} \quad (2)$$

Среднее квадратическое отклонение (σ):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (k - \bar{k})^2}{n}} = \sqrt{\frac{0,156}{10}} = 0,125 \text{ м}^{-1} \quad (3)$$

Коэффициент вариации по среднему квадратическому отклонению (V_σ):

$$V_\sigma = \frac{\sigma}{\bar{k}} \times 100\% = \frac{0,125}{0,283} \times 100\% = 44,13\% \quad (4)$$

Полученное значение свидетельствует о низкой точности существующей методики замера дымности из-за субъективности создания нагрузочных циклов свободного ускорения коленчатого вала двигателя водителем-диагностом, при этом среднее арифметическое значение дымности 10 испытаний с погрешностью 3 % соответствует ожидаемой дымности, полученной линейной аппроксимацией данных методом наименьших квадратов.

Заключение

Проведенные исследования свидетельствуют о возможности использования для диагностики пожарных автомобилей теоретическую модель взаимосвязи дымности ОГ и общего пробега транспортного средства, который является критерием величины износа деталей двигателя и трансмиссии. При этом необходимо совершенствование методики замера дымности ОГ в рамках повышения точности проведенных измерений за счет исключения субъективности водителя-диагноста в создании циклов свободного ускорения коленчатого вала двигателя, а так же проведения дополнительных исследований на других моделях пожарных автомобилей.

Список источников

1. Гавкалюк, Б. В. Теория и практика обеспечения безопасности применения в условиях чрезвычайных ситуаций силовых установок пожарных автомобилей 4-5 поколений / Б. В. Гавкалюк, В. Н. Ложкин, А. С. Смирнов // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2023. – № 2(66). – С. 8-15. – EDN VRCPVS.
2. Ложкин, В. Н. Теория и практика диагностики пожароопасных режимов эксплуатации каталитических нейтрализаторов / В. Н. Ложкин // Пожаровзрывобезопасность. – 2022. – Т. 31, № 3. – С. 65-74. – DOI 10.22227/0869-7493.2022.31.03.65-74. – EDN XEVZCQ
3. Ложкин, В. Н. О применимости анализа состава отработавших газов для диагностики топливно-экономических показателей дизельных автомобилей / В. Н. Ложкин, В. С.

Артамонов, Ю. Г. Баскин // Вестник Санкт-Петербургского университета МВД России. – 2001. – № 1(9). – С. 143-147. – EDN RLLOYE

4. Radu, Bogdan & Racovitza, Alexandru & Chiriac, Radu. (2017). Soot and smoke emissions numerical evaluation for a direct injection (DI) diesel engine. MATEC Web of Conferences. 121. 06009. 10.1051/mateconf/201712106009

5. Решение Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. № 877 «О принятии технического регламента Таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/70106658/>

6. РДР № 505 от 20.02.2018 года Дополнение № ДЭ 143-1 на автомобили с двигателем экологического класса 5 к руководству по эксплуатации 4320М-3902035 РЭ «Автомобиль Урал-4320М и его модификации (издание второе уточненное, Миасс, 2018 г., 85 с.)

7. Инструкция по диагностике двигателей ЯМЗ-5340, ЯМЗ-536, их модификаций и комплектаций экологических классов 4 и 5. 5340.3902250 ИС. ПАО «Автодизель» (Ярославский моторный завод), Ярославль, 2019 г., 120 с.

8. Правила Европейской экономической комиссии Организации Объединённых Наций №49-05 [Электронный ресурс]. – <https://rst.gov.ru:8443/file-service/file/load/1515763663447>

9. Руководство по эксплуатации БДИ1М-5.00.00 РЭ Блок двигателя интерфейсный БДИ1М ООО «Объединение Родина» г. Йошкар-Ола, 11 с.

10. Руководство по эксплуатации 536.3902150 РЭ «Двигатели ЯМЗ-536, ЯМЗ-5361, ЯМЗ-5362, ЯМЗ-5363, ЯМЗ-536, ЯМЗ-5364, их модификации и комплектации. Экологический класс 4 и 5» ПАО «Автодизель» (Ярославский моторный завод), Ярославль, 2018 г., 320 с.

11. Приказ МЧС России от 25 ноября 2016 г. № 624 «Об утверждении Положения об организации ремонта, нормах наработки (сроках службы) до ремонта и списания техники, вооружения, агрегатов, специального оборудования и имущества в Министерстве Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/71681812/>

12. ГОСТ 33997-2016. «Межгосударственный стандарт. Колесные транспортные средства. Требования к безопасности в эксплуатации и методы проверки» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/71871854/>

13. Измеритель дымности отработавших газов модификаций МЕТА-01МП 0.1, ЛТК, К, МЕТА-01 МП 0.2 Руководство по эксплуатации. М 006.000.00-03 РЭ, Методика проверки М 006.000.00МП. Научно-производственная фирма «МЕТА», 2019 г, 45с.

14. Теория вероятностей и математическая статистика [Текст] : [учеб. пособие для экон. специальностей вузов] / И. Г. Венецкий, Г. С. Кильдишев. - 3-е изд., перераб. и доп. - Москва : Статистика, 1975. - 264 с. : граф.; 22 см.

References

1. Gavkalyuk, B.V. Theory and practice of ensuring the safety of the use of power plants of fire trucks of 4-5 generations in emergency situations / B.V. Gavkalyuk, V.N. Lozhkin, A.S. Smirnov // Problems of risk management in technosphere. – 2023. – No. 2(66). – P. 8-15. – EDN VRCPVS.

2. Lozhkin, V. N. Theory and practice of diagnostics of fire hazardous modes of operation of catalytic converters / V. N. Lozhkin // Fire and explosion safety. – 2022. – Т. 31, No. 3. – P. 65-74. – DOI 10.22227/0869-7493.2022.31.03.65-74. – EDN XEVZCQ

3. Lozhkin, V. N. On the applicability of exhaust gas composition analysis for diagnosing the fuel and economic indicators of diesel cars / V. N. Lozhkin, V. S. Artamonov, Yu. G. Baskin // Bulletin of the St. Petersburg University of the Ministry of Internal Affairs of Russia. – 2001. – No. 1(9). – pp. 143-147. – EDN RLLOYE

4. Radu, Bogdan & Racovitza, Alexandru & Chiriac, Radu. (2017). Soot and smoke emissions numerical evaluation for a direct injection (DI) diesel engine. MATEC Web of Conferences. 121.06009.10.1051/mateconf/201712106009

5. Decision of the Customs Union Commission of December 9, 2011 No. 877 “On the adoption of the technical regulations of the Customs Union “On the safety of wheeled vehicles” [Electronic resource]. – Access mode: <https://base.garant.ru/70106658/>

6. RDR No. 505 dated February 20, 2018 Addition No. DE 143-1 for cars with an engine of environmental class 5 to the operating manual 4320M-3902035 RE “Ural-4320M car and its modifications (second updated edition, Miass, 2018, 85 pp.)
7. Instructions for diagnosing engines YaMZ-5340, YaMZ-536, their modifications and configurations of environmental classes 4 and 5. 5340.3902250 IS. PJSC "Avtodiesel" (Yaroslavl Motor Plant), Yaroslavl, 2019, 120 p.
8. Rules of the United Nations Economic Commission for Europe No. 49-05 [Electronic resource]. – <https://rst.gov.ru:8443/file-service/file/load/1515763663447>
9. Operating manual BDI1M-5.00.00 RE Interface engine block BDI1M Rodina Association LLC, Yoshkar-Ola, 11 p.
10. Operating manual 536.3902150 OM “YaMZ-536, YaMZ-5361, YaMZ-5362, YaMZ-5363, YaMZ-536, YaMZ-5364 engines, their modifications and configurations. Ecological class 4 and 5" PJSC "Avtodiesel" (Yaroslavl Motor Plant), Yaroslavl, 2018, 320 p.
11. Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia dated November 25, 2016 No. 624 “On approval of the Regulations on the organization of repairs, operating hours (service life) before repair and write-off of equipment, weapons, units, special equipment and property in the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, emergency situations and liquidation of consequences of natural disasters" [Electronic resource]. – Access mode: <https://base.garant.ru/71681812/>
12. GOST 33997-2016. "Interstate standard. Wheeled vehicles. Operational safety requirements and verification methods" [Electronic resource]. – Access mode: <https://base.garant.ru/71871854/>
13. Exhaust gas opacity meter of modifications META-01MP 0.1, LTK, K, META-01 MP 0.2 Operating manual. M 006.000.00-03 RE, Test method M 006.000.00MP. Research and production company "МЕТА", 2019, 45 p.
14. Probability theory and mathematical statistics [Text]: [textbook. allowance for economics specialties of universities] / I. G. Venetsky, G. S. Kildishev. - 3rd ed., revised. and additional - Moscow: Statistics, 1975. - 264 p. : graph; 22 cm.

Статья поступила в редакция 23.01.2024; одобрена после рецензирования 01.03.2024; принята к публикации 21.03.2024.

The article was submitted 23.01.2024, approved after reviewing 01.03.2024, accepted for publication 21.03.2024.