

Научная статья

УДК 656.13:614.846.6; DOI: 10.61260/1998-8990-2024-1-60-66

СЕРВИС ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПО КРИТЕРИЯМ ТЕХНИЧЕСКОЙ ГОТОВНОСТИ МАШИН СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Гавкалюк Богдан Васильевич;

✉ **Ложкин Владимир Николаевич;**

Сацук Иван Владимирович.

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

✉ vnlojkin@yandex.ru

Аннотация. Рассматривается вопрос диагностирования оперативно-технической готовности к аварийному реагированию на пожарные риски автомобилей специального назначения по критериям допустимой эффективности функционирования силовых установок пожарных автомобилей в условиях эксплуатации. Предлагается оригинальный инструментальный аппарат для реализации интеллектуального процесса диагностирования, включающего рабочую математико-аналитическую модель в форме системы уравнений множественной регрессии, которая связывает показатели эффективности, регулировки топливной аппаратуры (цикловую подачу топлива $g_{ци}$, давление впрыска $P_{ф}$, свободное сечение распылителей $\mu_{фср}$, угол опережения впрыска $\Theta_{впр}$) с комбинацией параметров качества рабочего процесса сгорания (дымность отработавших газов K , CH , NO_x , CO_2 , CO), измеряемых (контролируемых) газоанализаторами. Метод диагностирования может реализоваться по программе бортовым процессором пожарного автомобиля 4–5 технологических поколений или с помощью предварительно подготовленных номограмм.

Ключевые слова: сервис, пожарная безопасность, специальная машина, техническая готовность, критерий эффективности, уравнение регрессии, диагностика

Для цитирования: Гавкалюк Б.В., Ложкин В.Н., Сацук И.В. Сервис пожарной безопасности по критериям технической готовности машин специального назначения // Проблемы управления рисками в техносфере. 2024. № 1 (69). С. 60–66. DOI: 10.61260/1998-8990-2024-1-60-66.

Scientific article

FIRE SAFETY SERVICE ACCORDING TO THE CRITERIA OF TECHNICAL READINESS OF SPECIAL-PURPOSE VEHICLES

Gavkalyuk Bogdan V.;

✉ **Lozhkin Vladimir N.;**

Satsuk Ivan V.

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

✉ vnlojkin@yandex.ru

Abstract. The issue of diagnosing the operational and technical readiness for emergency response to fire risks of special-purpose vehicles is considered according to the criteria for the acceptable efficiency of the functioning of power plants of fire vehicles under operating conditions. An original instrumental apparatus is proposed for the implementation of an intelligent diagnostic process, including a working mathematical and analytical model in the form of a system of multiple regression equations, which relates the efficiency indicators of fuel equipment adjustments

(cyclic fuel supply $g_{c\ nom}$, injection pressure P_{inj} , free section of nozzles $\mu_{f\ avtr}$, injection advance angle Θ_{inj}) with a combination of quality parameters of the combustion process (exhaust gas smoke K , CH , NO_x , CO_2 , CO), measured (controlled) by gas analyzers. The diagnostic method can be implemented according to a program by the on-board processor of a fire truck of 4–5 technological generations or using pre-prepared nomograms.

Keywords: service, fire safety, special vehicle, technical readiness, efficiency criterion, regression equation, diagnostics

For citation: Gavkalyuk B.V., Lozhkin V.N., Satsuk I.V. Fire safety service according to the criteria of technical readiness of special-purpose vehicles // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2024. № 1 (69). P. 60–66. DOI: 10.61260/1998-8990-2024-1-60-66.

Введение. Состояние проблемы

Основой противоречия, мотивировавшего проведение настоящего исследования, явилось резкое изменение в 2022 г. стратегической государственной политики в сфере технического перевооружения автомобильной отрасли и, в частности, парка специальных машин, предназначенных для аварийного реагирования на пожарные риски, в «пользу» развития национальных интеллектуально-производственных ресурсов (постановление Правительства Российской Федерации от 15 июня 2022 г. № 1269 «О внесении изменений в Правила применения обязательных требований в отношении отдельных колесных транспортных средств и проведения оценки их соответствия» (<http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202207180029>) [1].

На протяжении предыдущих трех десятилетий, в рамках следования всемирной глобализации экономики [2], в Российской Федерации объективно и справедливо отдавалось предпочтение «потребительской» стратегии в отношении к высокотехнологичной автомобильной, включая и специальные машины, продукции «западных» производителей, оснащенных прогрессивными «*common rail*, *CRT*, *SCR*, – *system*» [3]. В этом направлении были достигнуты определенные успехи в сфере решения проблем изменения климата по отношению к парниковому газу CO_2 [4]; загрязнения воздушной среды на автомагистралях поллютантами PM_{10} , $PM_{2.5}$, БП (бензо- α -пирен $C_{20}H_{12}$), CO , CH , NO_x , SO_2 [5]; санитарно-гигиенической оптимизации движения городских транспортных потоков по полосам дорожного полотна [6]. Становился все более заметным экологический эффект в местах эксплуатации пожарных автомобилей (ПА) западных производителей [7].

Однако к 2022 г. развившиеся, по отмеченным объективным причинам, тенденции ослабления «созидательного» интеллектуально-индустриального потенциала в автомобильной отрасли Российской Федерации привели к крайне негативным последствиям в условиях разрушения рыночных механизмов со стороны «западных» производителей [7]. К 2024 г. ситуация постепенно стабилизировалась за счет восстановления и развития национальных интеллектуально-производственных мощностей [1, 8], а также замещения машин «западных» производителей техникой Китайской народно-демократической республики. Отмеченные положительные тенденции потребовали адаптации к ним «сервиса пожарной безопасности» ПА на основе разработки и внедрения научно обоснованных методов безразборного диагностирования по критериям технической готовности к реагированию на пожарные риски с использованием подходов математического планирования экспериментов с последующим регрессионным анализом данных экспериментов [9].

Подходы, методы, объекты и результаты

Научная идея (рабочая гипотеза) вышеупомянутой оригинальной авторской методики осуществления сервиса пожарной безопасности (диагностики) базируется на ранее доказанной [1] реальной последовательности феноменологических соотношений и вытекающих

из них закономерных следствий. А именно, отработавшие газы (ОГ) силовых установок ПА являются носителем информации о качестве протекания рабочего процесса сгорания углеводородного топлива в цилиндрах, которое предопределяет и, следовательно, при выражении качества через характеристики эффективности рабочего процесса может свидетельствовать наступление аварийного режима эксплуатации силовой установки ПА [8].

На данной научной идее был выстроен инструментально-методический аппарат безразборной (поскольку состав ОГ измеряется газоанализаторами на выходе их из выпускной трубы поршневого двигателя) диагностики показателей эффективности рабочего процесса. В качестве показателей эффективности протекания рабочего процесса сгорания, в зависимости от цели исследования, могут приниматься технические параметры двигателя ПА, а именно: измеряемые характеристики состава ОГ (NO_x , ppm; K , %; K_{CV} , %; CO , ppm; CH , ppm), или установочные регулировки подачи топлива ($\Theta_{впр}$, град. п.к.в.; $g_{цн}$, мм³/ц), и, например, расчетное значение часового расхода топлива (G_T , кг/ч). При этом численные значения предельных величин показателей эффективности, по которым идентифицируется переход силовой установки ПА в аварийный режим эксплуатации [8], устанавливается по документации (рекомендациям) предприятия (фирмы) – изготовителя силовой установки ПА.

Теоретические смыслы математического планирования одно/многофакторных экспериментов, анализа уравнений регрессии, а также методики и техники их цифровой реализации на микропроцессорах соответствовали рекомендациям работы [9]. Новым авторским феноменологическим элементом в сущности скрытых закономерностей [9] в численных массивах статистических данных состава ОГ являлся учет разнородной природы (механизмов кинетики) их образования в цилиндрах [1, 8], что и обеспечивает на практике «жесткую» идентификацию аварийных режимов эксплуатации силовых установок ПА (отказов) [1].

В качестве объектов статистических регрессионных исследований были взяты наиболее распространенные в Российской Федерации ПА с отечественными двигателями семейства КамАЗ, массивы показателей и характеристик работы которых на режимах частичных нагрузок были получены в течение 2020–2023 гг. [7].

В таблице представлены полученные корреляционные зависимости между исследованными диагностируемыми параметрами, характеризующими протекание процесса сгорания углеводородного топлива в цилиндрах:

– технические параметры силовой установки ($\Theta_{впр}$, град. п.к.в.; $g_{цн}$, мм³/ц, P_f , МПа; G_T , кг/ч);

– состав ОГ (NO_x , ppm; K , %; K_{CV} , %; CO , ppm; CH , ppm).

Зависимости получены на частичных нагрузочных режимах, соответствующих частотам вращения коленчатого вала $n=1\ 800\ \text{мин}^{-1}$, $n=2\ 600\ \text{мин}^{-1}$ и режиму свободного ускорения силовой установки ПА без внешней нагрузки по ГОСТ 33997–2016 «Колесные транспортные средства. Требования к безопасности в эксплуатации и методы проверки» (СУ).

Таблица

Корреляционные зависимости, связывающие диагностируемые параметры ПА с силовыми установками семейства КамАЗ

Режим	Зависимость	Коэффициент корреляции, R
$n = 1\ 800\ \text{мин}^{-1}$	$NO_x = -214,441 + 43,542\ \Theta_{впр}$	0,91
	$K = -71,000 + 1,450\ g_{цн}$	0,88
	$CO = -1163,345 + 156,949\ K_{CV}$	0,90
	$CH = 71,469 + 0,472\ K_{CV}^2$	0,92
	$K = -11,637 + 2,655\ K_{CV}$	0,87
	$G_T = 7,773 + 0,195\ g_{цн}$	0,96

Режим	Зависимость	Коэффициент корреляции, R
$n = 2\ 600\ \text{мин}^{-1}$	$NO_x = -342,253 + 42,437\ \Theta_{\text{впр}}$	0,93
	$K = -40,267 + 0,962g_{\text{цн}}$	0,85
	$CO = -489,645 + 869,973K_{\text{сy}}$	0,94
	$CH = -58,001 + 15,704K_{\text{сy}}$	0,86
	$K = -5,277 + 1,969K_{\text{сy}}$	0,92
	$G_T = 16,887 + 0,182g_{\text{цн}}$	0,93
СУ	$K_{\text{сy}} = 21,467 + 0,002g_{\text{цн}}^2 - 0,031P_{\phi}^2$	0,85

Разработанный метод диагностирования отклонения контролируемых технических параметров силовой установки ПА от требований, предусмотренных документацией завода-изготовителя или действующих стандартов, может реализоваться:

- для ПА 4–5 технологических поколений – по программе бортовым процессором;
- для остальных, не оснащенных бортовым процессором, – с помощью специально подготовленной номограммы (рис.).

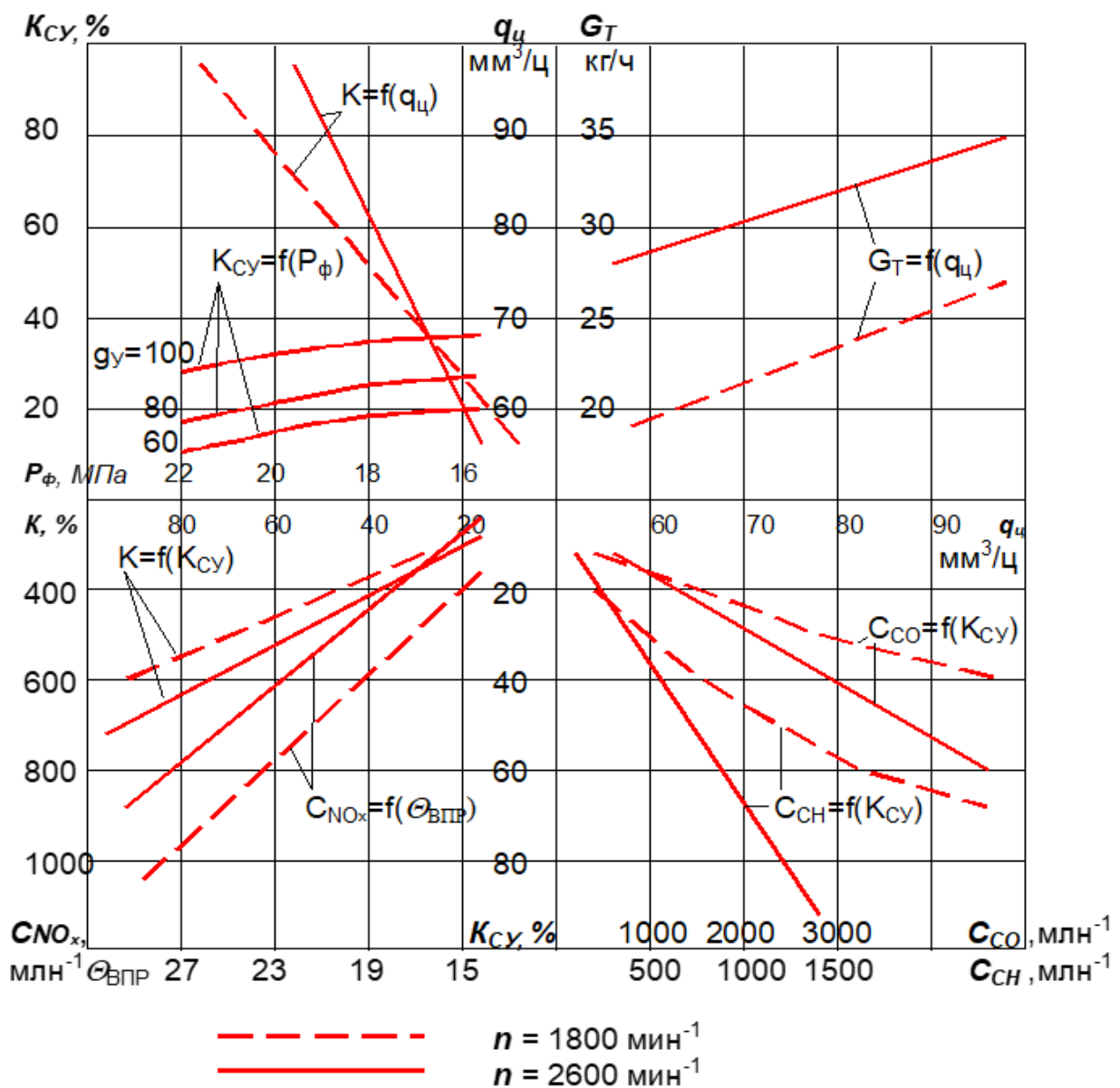


Рис. Диаграмма диагностики технических параметров силовой установки ПА

Выводы

1. Изменение в Российской Федерации стратегии глобализации в экономике на развитие созидательного внутригосударственного интеллектуально-индустриального потенциала актуализировало в системе сервиса пожарной безопасности разработку и внедрение безразборных методов диагностики отказов силовых установок ПА по составу ОГ на основе регрессионного моделирования.

2. Предложенный метод сервиса пожарной безопасности по критериям технической готовности машин специального назначения к аварийному реагированию на пожарные риски базируется на выявлении регрессионным анализом скрытых закономерностей в численных массивах статистических данных состава ОГ.

3. Закономерности в форме регрессионных связей между техническими параметрами силовой установки ($\Theta_{впр}$, град. п.к.в.; $g_{ци}$, мм³/ц, G_T , кг/ч) и составом ОГ (NO_x , ppm; K , %; $K_{СУ}$, %; CO , ppm; CH , ppm) проявляются благодаря учету «разнородности» механизмов образования последних в цилиндрах.

Таким образом, на практике обеспечивается «жесткая» (значения коэффициентов корреляции в диапазоне 0,88–0,96) идентификация аварийных режимов эксплуатации силовых установок ПА, обусловленных износом сопрягаемых деталей и «моральным» старением их конструкций.

Список источников

1. Ложкин В.Н., Ложкина О.В. Информационные процессы в управлении комплексной безопасностью транспорта: стратегическое планирование и моделирование: монография / под общ. ред. Б.В. Гавкалюка. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2022. 164 с.

2. Life-cycle assessment to guide solutions for the triple planetary crisis / S. Hellweg [et al.] // Nature reviews earth & environment. 2023. Vol. 4. Iss. 7. P. 471–486. DOI: 10.1038/s43017-023-00449-2.

3. Estimating vehicular emission factors and vehicle-induced turbulence: Application of an air quality sensor array for continuous multipoint monitoring in a tunnel / H.Yu. Song [et al.] // Atmospheric pollution research. 2023. Vol. 14. № 7. DOI: 10.1016/j.apr.2023.101799.

4. Гайворонский А.И., Гордин В.М., Марков В.А. Проблемы и перспективы использования безуглеродных и низкоуглеродных моторных топлив в условиях различных сценариев перехода к углеродно-нейтральной энергетике // Двигателестроение. 2022. № 2. С. 4–28. DOI: 10.18698/jec.2022.2.4-28.

5. Методические основы организации экологических зон с низкими выбросами автомобильного транспорта: монография / В.В. Донченко [и др.]. СПб.: Изд-во «Коста», 2023. 264 с.

6. Emission impacts of left-turn lane on light-heavy-duty mixed traffic in signalized intersections: Optimization and empirical analysis / JY Fan [et al.] // HELIYON, Publisher name ELSEVIER SCILTD. 2023. Vol. 9. Iss. 5. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e16260.

7. Сацук И.В. Закономерности распределения и технического состояния эксплуатируемых пожарных автомобилей по показателям конструктивной безопасности силовых установок // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2022. № 2. С. 31–38. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2022.27.97.004.

8. Ложкин В.Н. Теория и практика диагностики пожароопасных режимов эксплуатации каталитических нейтрализаторов // Пожаровзрывобезопасность. 2022. Т. 31. № 3. С. 65–74. DOI: 10.22227/0869-7493.2022.31.03.65-74.

9. Таранцев А.А. Регрессионный анализ и планирование испытаний в задачах принятия решений: монография. СПб.: ИПТ РАН, 2017. 174 с.

References

1. Lozhkin V.N., Lozhkina O.V. Informacionnye processy v upravlenii kompleksnoj bezopasnost'yu transporta: strategicheskoe planirovanie i modelirovanie: monografiya / pod obshch. red. B.V. Gavkalyuka. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2022. 164 s.
2. Life-cycle assessment to guide solutions for the triple planetary crisis / S. Hellweg [et al.] // Nature reviews earth & environment. 2023. Vol. 4. Iss. 7. P. 471–486. DOI: 10.1038/s43017-023-00449-2.
3. Estimating vehicular emission factors and vehicle-induced turbulence: Application of an air quality sensor array for continuous multipoint monitoring in a tunnel / H.Yu. Song [et al.] // Atmospheric pollution research. 2023. Vol. 14. № 7. DOI: 10.1016/j.apr.2023.101799.
4. Gajvoronskij A.I., Gordin V.M., Markov V.A. Problemy i perspektivy ispol'zovaniya bezuglerodnyh i nizkouglerodnyh motornyh topliv v usloviyah razlichnyh scenarijev perekhoda k uglerodno-nejtral'noj energetike // Dvigatelsestroenie. 2022. № 2. S. 4–28. DOI: 10.18698/jec.2022.2.4-28.
5. Metodicheskie osnovy organizacii ekologicheskikh zon s nizkimi vybrosami avtomobil'nogo transporta: monografiya / V.V. Donchenko [i dr.]. SPb.: Izd-vo «Kosta», 2023. 264 s.
6. Emission impacts of left-turn lane on light-heavy-duty mixed traffic in signalized intersections: Optimization and empirical analysis / JY Fan [et al.] // HELIYON, Publisher name ELSEVIER SCI LTD. 2023. Vol. 9. Iss. 5. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e16260.
7. Sacuk I.V. Zakonomernosti raspredeleniya i tekhnicheskogo sostoyaniya ekspluatiruemyh pozharnyh avtomobilej po pokazatelyam konstruktivnoj bezopasnosti silovyh ustanovok // Sibirskij pozharo-spasatel'nyj vestnik. 2022. № 2. S. 31–38. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2022.27.97.004.
8. Lozhkin V.N. Teoriya i praktika diagnostiki pozharoopasnyh rezhimov ekspluatatsii kataliticheskikh nejtralizatorov // Pozharovzryvobezopasnost'. 2022. T. 31. № 3. S. 65–74. DOI: 10.22227/0869-7493.2022.31.03.65-74.
9. Tarancev A.A. Regressionnyj analiz i planirovanie ispytanij v zadachah prinyatiya reshenij: monografiya. SPb.: IPT RAN, 2017. 174 s.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 06.03.2024; одобрена после рецензирования: 21.03.2024;
принята к публикации: 23.03.2024

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 06.03.2024; approved after review: 21.03.2024;
accepted for publication: 23.03.2024

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

Сацук Иван Владимирович, адъюнкт факультета подготовки кадров высшей квалификации Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: kviteren@gmail.com

Information about the authors:

Gavkalyuk Bogdan V., supervisor of 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 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

Satsuk Ivan V., adjunct of the faculty of training highly qualified personnel of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: kviteren@gmail.com