

Научная статья

УДК 504.054:629.113:656.61; DOI: 10.61260/1998-8990-2026-1-238-247

## **ИНТЕГРАЦИЯ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК МОБИЛЬНЫХ СРЕДСТВ ПОЖАРОТУШЕНИЯ В СТРАТЕГИЮ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ ПОРТОВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ**

**Ложкин Владимир Николаевич.**

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

✉ **Сацук Иван Владимирович.**

**Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, г. Железногорск, Россия**

✉ ***kviteren@gmail.com***

*Аннотация.* Исследование направлено на разработку и научное обоснование методологических принципов интеграции системы инструментальной диагностики силовых установок пожарно-спасательных автомобилей в стратегию управления экологическими рисками морских и речных портов. Методология основана на адаптации автоматизированного диагностического комплекса к специфическим условиям портовой эксплуатации с применением структурно-функционального моделирования и сравнительного сценарного анализа. В результате формализованы ключевые факторы риска портовой среды и установлен операционный критерий для экологически чувствительных зон – предельная дымность отработавших газов пожарных и аварийно-спасательных автомобилей не более  $0,6 \text{ м}^{-1}$ , что на 60 % ниже общего норматива. Разработана концепция двухконтурного экологического мониторинга порта, где внутренний контур диагностики парка пожарно-спасательных автомобилей генерирует данные для внешнего контура оценки совокупного воздействия порта. Моделирование ликвидации условного портового пожара показало, что формирование оперативной группы из техники, соответствующей установленному критерию, позволяет снизить массовый выброс твердых частиц на 91,7 % по сравнению с применением устаревшего парка. Научная новизна заключается в разработке принципов адаптации операционной диагностики к требованиям экологической безопасности порта и в создании модели её интеграции в систему управления рисками. Практическая значимость состоит в предоставлении портовым операторам инструментария для перехода к прогнозному техническому обслуживанию, формирования низкоэмиссионного резерва техники, количественной оценки вклада аварийно-спасательной службы в углеродный след порта и обоснования инвестиций в модернизацию парка.

*Ключевые слова:* климатическая нейтральность, углеродный след, экологическая безопасность, пожарно-спасательные автомобили, сажа, потенциал глобального потепления, управление эмиссиями

**Для цитирования:** Ложкин В.Н., Сацук И.В. Интеграция системы диагностики экологического состояния силовых установок мобильных средств пожаротушения в стратегию управления рисками портовой инфраструктуры // Проблемы управления рисками в техносфере. 2026. № 1 (77). С. 238–247. DOI: 10.61260/1998-8990-2026-1-238-247

Scientific article

## INTEGRATION OF A DIAGNOSTIC SYSTEM FOR THE ENVIRONMENTAL CONDITION OF MOBILE FIREFIGHTING EQUIPMENT POWER UNITS INTO THE RISK MANAGEMENT STRATEGY OF PORT INFRASTRUCTURE

Lozhkin Vladimir N.

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

✉ Satsuk Ivan V.

Siberian fire and rescue academy of EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russia

✉ [kviteren@gmail.com](mailto:kviteren@gmail.com)

*Abstract.* The study aims to develop and scientifically substantiate the methodological principles for integrating an instrumental diagnostic system for fire and rescue vehicle power units into the environmental risk management strategy of seaports and river ports. The methodology is based on adapting an automated diagnostic complex to the specific conditions of port operations, employing structural-functional modelling and comparative scenario analysis. As a result, key risk factors of the port environment were formalised, and an operational criterion for ecologically sensitive zones was established – a maximum exhaust smoke opacity for fire and rescue vehicles of  $0,6 \text{ m}^{-1}$ , which is 60 % stricter than the general standard. A concept of a two-circuit environmental monitoring system for ports was developed, where the internal circuit for fire and rescue fleet diagnostics generates data for the external circuit assessing the port's cumulative impact. Modelling the response to a conditional port fire demonstrated that forming a response group from vehicles meeting this criterion reduces particulate matter emissions by 91,7 % compared to using an outdated fleet. The scientific novelty lies in developing principles for adapting operational diagnostics to port environmental safety requirements and creating a model for its integration into the risk management system. The practical significance consists in providing port operators with a toolkit for transitioning to predictive maintenance, forming a low-emission vehicle reserve, quantitatively assessing the contribution of emergency response services to the port's carbon footprint, and justifying investments in fleet modernization.

*Keywords:* climate neutrality, carbon footprint, environmental safety, fire and rescue vehicles, soot, global warming potential, emission management

**For citation:** Lozhkin V.N., Satsuk I.V. Integration of a diagnostic system for the environmental condition of mobile firefighting equipment power units into the risk management strategy of port infrastructure // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2026. № 1 (77). P. 238–247. DOI: 10.61260/1998-8990-2026-1-238-247

### Введение. Состояние проблемы

Современные морские и речные порты функционируют как высококонцентрированные техногенные комплексы, где на ограниченной территории сосредоточены значительные объемы горючих материалов, опасных грузов и энергетических установок [1]. Анализ аварийности, проведенный Khan et al. [2], показывает, что пожары и взрывы остаются одними из наиболее вероятных и тяжелых по последствиям инцидентов в портовой деятельности. Отечественные исследования (например, работа А.В. Кулагина [3]) подтверждают высокие риски экологического ущерба при авариях на нефтяных терминалах, моделирование которых требует учета множества факторов. При этом фокус существующих систем управления безопасностью, как правило, направлен на предотвращение первичного инцидента и минимизацию прямого ущерба от него [4]. Однако, как демонстрирует анализ последствий крупных портовых пожаров, совокупный экологический ущерб формируется не только продуктами горения и разливами, но и интенсивной работой сил ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС) [5].

Парк пожарных и аварийно-спасательных автомобилей (ПСА), оснащенный дизельными силовыми установками, является неотъемлемым элементом защиты портовой инфраструктуры. Особенности его эксплуатации – частые холодные пуски, движение по территории порта с остановками, длительная работа двигателя на стационарных режимах для привода насосного и специального оборудования способствуют повышенному износу и росту эмиссии загрязняющих веществ [6, 7]. Исследования реальных выбросов спецтехники, например, работа Gurgatz et al. [8], подтверждают, что в условиях эксплуатации удельные выбросы твердых частиц (PM) и оксидов азота (NO<sub>x</sub>) могут существенно отклоняться от сертификационных значений. Таким образом, в зоне ликвидации портовой ЧС формируется значительный вторичный источник загрязнения, воздействие которого на прибрежную полосу и акваторию может усугублять последствия аварии.

В условиях перехода мировой портовой индустрии к принципам устойчивого развития и углеродной нейтральности, которые находят отражение в разрабатываемых системах оценки [9] и отраслевых стандартах безопасности [10], управление всеми источниками выбросов, включая вспомогательные, становится обязательным условием [11]. Тем не менее, как отмечает К.Э. Лобкова [12], на практике вопросы экологичности собственного технологического и вспомогательного транспорта в портах часто остаются без должного внимания. Это создает противоречие между декларируемыми целями устойчивого развития и фактическим учетом антропогенной нагрузки.

В Российской Федерации дымность отработавших газов (ОГ) дизельных двигателей на режиме свободного ускорения (СУ) регламентирована как параметр двойного назначения: как критерий конструктивной безопасности (ГОСТ 33997–2016 «Колёсные транспортные средства. Требования к безопасности в эксплуатации и методы проверки») и как технический норматив выброса (Федеральный закон от 4 мая 1999 г. № 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха»). Разработанные ранее методики [13, 14], включая применение роботизированного манипулятора для устранения субъективной погрешности, позволили достичь высокой воспроизводимости измерений (коэффициент вариации 6,9 %) и получить стабильные данные, пригодные для прогнозного анализа состояния систем нейтрализации ОГ и деталей двигателя. Эти результаты создают технологическую основу для решения более широкой задачи – управления экологическими характеристиками парка спецтехники как части инфраструктуры. Однако данные разработки не адаптированы к специфическим условиям, регламентам и рискам портовой среды.

Таким образом, актуальной научно-практической проблемой является отсутствие системного подхода к интеграции инструментального контроля и диагностики экологического состояния силовых установок сил реагирования в общую стратегию управления рисками и обеспечения экологической безопасности портовой инфраструктуры.

Целью исследования является разработка и научное обоснование методологических принципов интеграции системы диагностики экологического состояния силовых установок пожарно-спасательной техники в стратегию управления рисками морских и речных портов для минимизации совокупного техногенного воздействия.

Для достижения поставленной цели был применен комплекс методов, включая системный анализ, адаптацию инструментальных диагностических методик и имитационное моделирование, и решены следующие задачи:

– на основе анализа отечественной и зарубежной литературы, а также нормативной базы, выявить специфические экологические риски портовой инфраструктуры, связанные с эксплуатацией и применением ПСА;

– адаптировать существующую высокоточную методику диагностики по дымности ОГ к условиям портовой эксплуатации, формализовав дополнительные влияющие факторы (повышенная влажность, солевая аэрозоль, характер перемещений) и критерии приемлемости;

– разработать концептуальную модель двухконтурной системы экологического мониторинга порта, интегрирующую блок операционной диагностики техники как источник исходных данных для оценки совокупного воздействия;

– оценить практическую эффективность и значимость предлагаемого подхода для задач снижения углеродного следа, формирования экологической отчетности и управления комбинированными (техногенно-экологическими) рисками портового комплекса.

Решение поставленных задач позволит перейти от констатации экологической проблемы к активному управлению эмиссиями парка ПСА на основе данных инструментального контроля, что является необходимым условием для снижения совокупного углеродного следа портовой деятельности.

### Методы исследования

Исследование основано на применении комплекса взаимосвязанных методов, направленных на разработку и обоснование принципов интеграции инструментальной диагностики в систему экологической безопасности порта. Объектом исследования является портовая инфраструктура как источник совокупного техногенного воздействия, а предметом – процесс интеграции системы диагностики силовых установок ПСА в стратегию управления экологическими рисками.

Методологической основой для формирования инструментального блока стала адаптация ранее разработанного авторами диагностического комплекса [13, 14]. Комплекс включает автоматизированное устройство с роботизированным манипулятором для воспроизводимого формирования режима СУ дизельного ПСА и алгоритм классификации технического состояния по дымности ОГ на режиме СУ, обеспечивающий коэффициент вариации измерений 6,9 %. Адаптация к специфическим условиям портовой эксплуатации проводилась методом экспертной оценки и формализации дополнительных факторов риска. Были учтены: коррозионная активность среды (повышенная влажность, солевой аэрозоль), характерные для порта режимы работы (ненормированный график выездов, длительная работа на холостом ходу) [9–11], а также организационные требования к работе в различных функциональных зонах [12]. Достоверность инструментального подхода для оценки реальных выбросов СПА подтверждается исследованиями, проведенными в условиях, приближенных к эксплуатационным [15, 16].

Выявленная в работе [14] статистически значимая связь между дымностью ОГ на режиме СУ и общим пробегом техники ( $R^2 = 0,74$ ), позволяет использовать данный параметр для прогнозного планирования технического обслуживания и заблаговременной замены деталей двигателя. Разрабатываемый подход к прогнозируемому техническому обслуживанию на основе корреляции диагностических параметров с пробегом находит свое подтверждение в независимых исследованиях парка легкового и легкого коммерческого автотранспорта. Была установлена статистически значимая зависимость: автомобили с пробегом более 100 000 км, независимо от заявленного экологического класса, демонстрируют удельные выбросы СО и СН, сопоставимые с нормами для устаревших классов «Евро-0» – «Евро-3» [17]. Это указывает на универсальность связи между наработкой (пробегом), износом систем двигателя (топливной аппаратуры, нейтрализатора) и уровнем реальных выбросов.

Для интеграции адаптированной диагностики в систему управления портом применен метод структурно-функционального моделирования. На его основе разработана концепция двухконтурной системы экологического мониторинга порта (рис. 1). Концепция предполагает, что внутренний (операционный) контур диагностики парка ПСА генерирует измеримые данные об удельных выбросах и состоянии техники. Эти данные служат входной информацией для внешнего (стратегического) контура, ответственного за оценку совокупного воздействия порта, расчет углеродного следа и формирование отчетности.

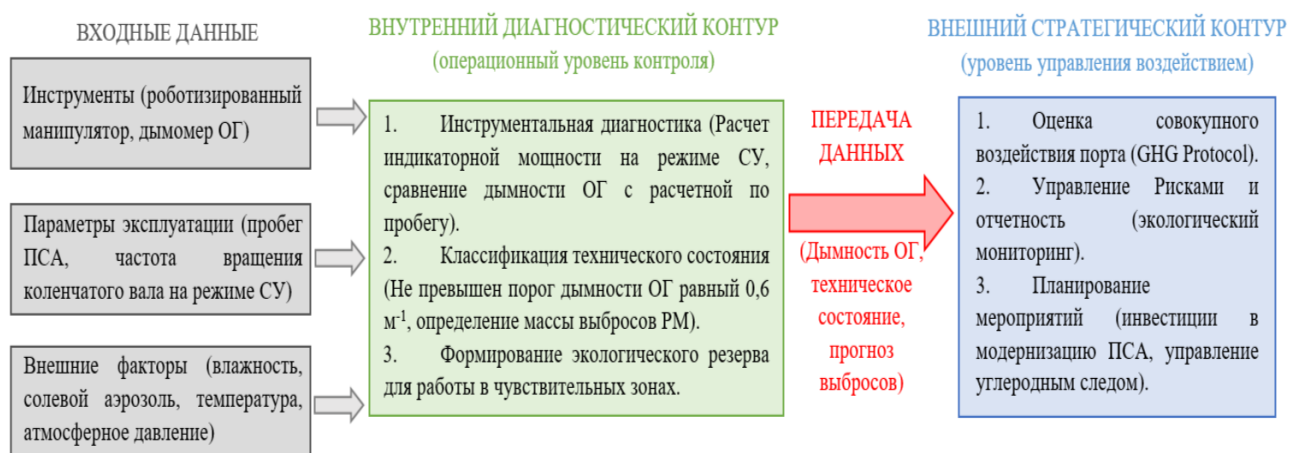


Рис. 1. Концептуальная модель двухконтурной системы экологического мониторинга портовой инфраструктуры

Оценка практической эффективности предложенной модели выполнена методом сравнительного сценарного анализа. Были смоделированы два варианта ликвидации условного пожара на нефтяном терминале: с привлечением парка ПСА экологических классов Евро 0 – Евро 2 (Сценарий А) и с использованием техники, отобранной в экологический резерв (ПСА с дымностью ОГ на режиме СУ не более 0,6 м<sup>-1</sup>) по результатам диагностики (Сценарий Б). Для количественной оценки использовались критерии массы выброшенных твердых частиц (РМ) и потенциального загрязнения акватории сажей с сорбированными полициклическими ароматическими углеводородами (ПАУ) [18]. Пересчет значений дымности ОГ в массовые выбросы РМ осуществлялся с использованием эмпирических коэффициентов, полученных в авторском исследовании [14].

### Результаты исследования и их обсуждение

Реализация адаптированной методики диагностики на основе дымности ОГ в условиях портовой эксплуатации позволила получить ряд количественных и качественных результатов, имеющих значение для управления экологическими рисками портовой инфраструктуры. Анализ специфики эксплуатации парка ПСА, обеспечивающих контроль проведения огневых работ и обеспечения безопасности при транспортировке опасных грузов, в портовых условиях подтвердил выдвинутую гипотезу о необходимости учета дополнительных факторов, влияющих на формирование выбросов. В частности, было установлено, что средняя интенсивность движения ПСА по территории крупного морского порта составляет 8–12 поездов в сутки, при этом 70 % из них представляют собой короткие перемещения (менее 2 км) с частыми остановками. Такой режим приводит к преобладанию низкотемпературных режимов работы двигателя, что способствует повышенному образованию сажи и быстрой деградации каталитических нейтрализаторов [16].

Ключевым результатом адаптации методики стала разработка дифференцированных диагностических критериев для различных функциональных зон порта. Для зон повышенной экологической чувствительности (пассажиры терминалы, причалы вблизи заповедных акваторий) установлен порог допустимой дымности ОГ на уровне 0,6 м<sup>-1</sup>, что на 60 % ниже общего диагностического предела в 1,5 м<sup>-1</sup>, регламентированного ГОСТ 33997–2016. Для промышленно-складских зон сохранен общепринятый диапазон 1,5 м<sup>-1</sup>.

Реализация концепции двухконтурного мониторинга, представленной на рис. 1, продемонстрировала свою эффективность в рамках сценарного моделирования ликвидации условного пожара на нефтяном терминале.

Для количественной оценки потенциала снижения воздействия была проведена сравнительная оценка двух принципиально разных подходов к формированию сил реагирования на портовую ЧС. В основе анализа лежали фактические данные диагностики парков ПСА различного возраста и экологического класса. Моделировалась работа группы из пяти автомобилей в течение одного часа в непосредственной близости от акватории при ликвидации условного пожара на нефтепричале. Расчет массовых выбросов РМ выполнялся по установленной в ходе исследования корреляционной зависимости с использованием соотношения 2,5 г твердых частиц в час на единицу уменьшения показателя дымности на  $1 \text{ м}^{-1}$  для одной единицы техники, выведенного на основе натуральных измерений [14]. Результаты сравнения представлены в табл. 1.

Таблица 1

### Сравнительный анализ сценариев привлечения сил реагирования на ЧС

| Параметр   | Сценарий А           | Сценарий Б      | Результат                       |
|--|----------------------|-----------------|---------------------------------|
| Экологический класс СПА                            | Евро 0 – Евро 2      | Евро 4 – Евро 5 | Повышение класса                |
| Средняя расчетная дымность ОГ [7], $\text{м}^{-1}$ | 4,36 $\text{м}^{-1}$ | 0,36            | Снижение на 91,7 %              |
| Расчетный выброс РМ, г/ч                           | 272,5                | 22,5            | Снижение массы выброса на 250 г |

Значение дымности  $0,36 \text{ м}^{-1}$  в Сценарии Б является средней расчетной величиной для техники, отобранной в экологический резерв по установленному для чувствительных зон порога не более  $0,6 \text{ м}^{-1}$ . Этот порог служит гарантированным допусковым критерием для формирования резерва, в то время как достижимая средняя дымность ОГ отражает реальный эксплуатационный уровень современной исправной техники классов Евро-4/5 и демонстрирует значительный запас эффективности предлагаемого подхода.

Сравнительный анализ двух сценариев показал, что формирование оперативной группы из техники экологического резерва для СПА экологических классов Евро-4 и Евро-5 (Сценарий Б) позволяет снизить массовый выброс твердых частиц на 91,7 % по сравнению с привлечением СПА более низких экологических классов (Сценарий А). Для группы из пяти пожарных автомобилей, работающих в течение часа в непосредственной близости от акватории, это эквивалентно предотвращению выброса 250 г РМ. С учетом того, что сажа является активным сорбентом для ПАУ и обладает высоким потенциалом глобального потепления в краткосрочной перспективе [19, 20], управление данным источником вторичного загрязнения приобретает критическое значение для портов, стремящихся к снижению совокупного экологического воздействия [21].

Важным результатом исследования стала количественная оценка вклада ПСА в углеродный след порта. На основе адаптированных коэффициентов пересчета дымности ОГ в массовые выбросы РМ и использования международного стандарта по учету выбросов парниковых газов (Greenhouse Gas Protocol) была рассчитана потенциальная эмиссия парка ПСА. Для среднего порта с парком из 2 ед. спецтехники, находящейся в эксплуатации от 5 до 15 лет, годовой вклад в углеродный след может составлять от 10 до 24 т  $\text{CO}_2$ -эквивалента, причем до 70 % этого вклада обусловлено короткоживущими климатическими загрязнителями (сажа и  $\text{NO}_x$ ).

Внедрение предложенной системы позволяет портовым операторам перейти от реагирования на инциденты к управлению рисками на основе прогнозных данных инструментальной диагностики. Внутренний диагностический контур не только обеспечивает операционный контроль, но и формирует базу данных для стратегических решений. Например, динамика показателей дымности ОГ по конкретным единицам техники служит объективным основанием для планирования инвестиций в модернизацию парка, позволяя обосновать замену наиболее экологически неблагоприятных автомобилей, что обеспечивает высокую экологическую и экономическую эффективность модернизированного парка.

Разработанная модель обеспечивает замкнутый цикл управления: от инструментального измерения и операционной классификации техники до стратегической оценки воздействия и формирования отчетности. Таким образом, результаты работы демонстрируют не только техническую реализуемость интеграции диагностической системы в инфраструктуру порта, но и ее практическую значимость для достижения декларируемых целей по снижению углеродного следа и управлению совокупными экологическими рисками.

### Заключение

В результате проведенного исследования разработаны и обоснованы методологические принципы интеграции системы инструментальной диагностики по дымности ОГ в стратегию управления экологическими рисками портовой инфраструктуры. Ключевым практическим результатом стала адаптация методики к портовым условиям, позволившая формализовать дополнительные факторы риска: коррозионную активность среды (влажность до 95 %, содержание солевого аэрозоля), ненормированный режим эксплуатации и необходимость дифференцированного подхода к разным зонам порта.

Установлены конкретные количественные критерии: для зон повышенной экологической чувствительности (пассажиры терминалы, заповедные акватории) предельно допустимая дымность ОГ снижена до  $0,6 \text{ м}^{-1}$  для СПА экологических классов Евро-4 и Евро-5 (на 60 % ниже общего норматива в  $1,5 \text{ м}^{-1}$  по ГОСТ 33997–2016).

Оценка эффективности на основе сценарного моделирования ликвидации пожара на нефтяном терминале показала, что использование техники из экологического резерва (дымность  $\leq 0,6 \text{ м}^{-1}$ ) позволяет снизить массовый выброс твердых частиц на 91,7 %. Для группы из пяти пожарных автомобилей это означает предотвращение выброса 250 г РМ за час работы вблизи акватории. Расчет вклада аварийно-спасательной службы в углеродный след порта с парком ПСА из 2 ед. техники показал, что годовая эмиссия может составлять от 10 до 24 т  $\text{CO}_2$ -эквивалента, причем до 70 % этого вклада обусловлено короткоживущими климатическими загрязнителями (сажа).

Научная новизна работы заключается в разработке концепции двухконтурной системы экологического мониторинга, где внутренний операционный контур диагностики формирует исходные данные для внешнего стратегического контура оценки совокупного воздействия порта. Впервые для условий портовой эксплуатации формализована связь между параметром дымности ОГ на режиме СУ и реальными выбросами РМ.

Практическая значимость заключается в создании инструментария, позволяющего портовым операторам: осуществлять прогнозное техническое обслуживание ПСА на основе объективных данных; формировать низкоэмиссионный резерв техники; включать деятельность сил реагирования в инвентаризацию выбросов парниковых газов; обосновывать инвестиции в модернизацию парка ПСА.

### Список источников

1. Multi-hazard risk to global port infrastructure and resulting trade and logistics losses / J. Verschuur [et al.] // *Communications Earth & Environment*. 2023. Vol. 4. Article 5. DOI: 10.1038/s43247-022-00656-7
2. Khan R.U., Yin J., Mustafa F. Accident and pollution risk assessment for hazardous cargo in a port environment // *PLOS ONE*. 2021. Vol. 16. № 6. P. e0252732. DOI: 10.1371/journal.pone.0252732
3. Кулагин А.В. Пример моделирования применения противопожарных судов // *Технологии техносферной безопасности*. 2021. № 3 (93). С. 183–198. DOI: 10.25257/TTS.2021.3.93.183-198

4. Янченко А.Ю. Подходы к управлению эффективностью тушения пожара с использованием пожарных катеров // *Азимут научных исследований: экономика и управление*. 2021. Т. 10. № 3 (36). С. 418–421. DOI: 10.26140/anie-2021-1003-0099
5. Park Yu. Emissions Analysis of the Port Drayage Truck Replacement Program and Local Air Quality: The Case of the Port of New York and New Jersey // *Case Studies on Transport Policy*. 2022. Vol. 10. P. 2243–2250. DOI: 10.1016/j.cstp.2022.05.004
6. Kunambi M.M., Zheng H. Enhancing green ports in Dar es Salaam Port: facility optimization for emission reduction through Mamdani and Sugeno Fuzzy inference systems // *Frontiers in Environmental Engineering*. 2024. Vol. 3. P. 1374622. DOI: 10.3389/fene.2024.1374622
7. 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. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2022.27.97.004
8. Assessment and source apportionment of PM<sub>2.5</sub> in a major Latin American port: elevated concentrations from traffic in the Great Atlantic Forest Reserve / B. Gurgatz [et al.] // *Air Quality, Atmosphere & Health*. 2024. Vol. 18. P. 775–791. DOI: 10.1007/s11869-024-01677-1
9. Othman A., El-Gazzar S., Knez M. A framework for adopting a sustainable smart sea port index // *Sustainability*. 2022. Vol. 14. № 8. P. 4551. DOI: 10.3390/su14084551
10. Safety guidelines and a training framework for LNG storage and bunkering at ports / O. Aneziris [et al.] // *Safety Science*. 2021. Vol. 138. P. 105212. DOI: 10.1016/j.ssci.2021.105212
11. Bjerkan K.Yu., Seter H. Reviewing tools and technologies for sustainable ports: does research enable decision making in ports? // *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2019. Vol. 72. P. 243–260. DOI: 10.1016/j.trd.2019.05.003
12. Лобкова К.Э. Анализ основных проблем возникновения аварийных ситуаций при производстве погрузо-разгрузочных работ в морских портах // *Транспортное дело России*. 2023. № 5. С. 169–172. DOI: 10.52375/20728689\_2023\_5\_169
13. Ложкин В.Н., Сацук И.В. Совершенствование метода оценки негативного экологического воздействия дизельных пожарных автомобилей на режиме свободного ускорения с применением роботизированного манипулятора // *Проблемы управления рисками в техносфере*. 2025. № 4 (76). С. 251–266. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-4-251-266
14. Ложкин В.Н., Сацук И.В. Научное обоснование методов снижения углеродного следа и достижения климатической нейтральности парка пожарных автомобилей как источника экологической нагрузки // *Проблемы управления рисками в техносфере*. 2025. № 4 (76). С. 227–238. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-4-227-238
15. Ложкин В.Н., Сацук И.В. Диагностирование дизельных пожарных автомобилей с использованием автоматизированного метода контроля их экологической безопасности в эксплуатации // *Мир транспорта и технологических машин*. 2025. № 4 (91). С. 52–58. DOI: 10.33979/2073-7432-2025-4(91)-52-58
16. 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
17. Ложкина О.В., Мальчиков К.Б. Сравнительный анализ пробеговых выбросов автомобилей на различных видах топлива при дорожных заторах // *Вестник гражданских инженеров*. 2024. № 2 (103). С. 133–143. DOI: 10.23968/1999-5571-2024-21-2-133-143
18. Kholod N., Evans M. Reducing black carbon emissions from diesel vehicles in Russia: An assessment and policy recommendations // *Environmental Science & Policy*. 2016. Vol. 56. P. 1–8. DOI: 10.1016/j.envsci.2015.10.017
19. Усовершенствованная методика расчетного мониторинга выбросов парниковых газов от деятельности автомобильного и внедорожного транспорта в Российской Федерации / Ю.В. Трофименко [и др.] // *Научный вестник Московского государственного технического*

университета гражданской авиации. 2025. Т. 28. № 1. С. 78–96. DOI: 10.26467/2079-0619-2025-28-1-78-96

20. Мальчиков К.Б. Совершенствование методики мониторинга и прогнозирования опасного воздействия автотранспортных средств и судов на атмосферу в зонах их совместного влияния // Проблемы управления рисками в техносфере. 2024. № 4 (72). С. 202–211. DOI: 10.61260/1998-8990-2024-4-202-211

21. Ложкин В.Н. Обеспечение экологической безопасности силовых установок пожарной техники в условиях глобальных вызовов // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. 2023. № 1 (72/73). Р. 6–12.

## References

1. Multi-hazard risk to global port infrastructure and resulting trade and logistics losses / J. Verschuur [et al.] // *Communications Earth & Environment*. 2023. Vol. 4. Article 5. DOI: 10.1038/s43247-022-00656-7

2. Khan R.U., Yin J., Mustafa F. Accident and pollution risk assessment for hazardous cargo in a port environment // *PLOS ONE*. 2021. Vol. 16. № 6. P. e0252732. DOI: 10.1371/journal.pone.0252732

3. Kulagin A.V. Primer modelirovaniya primeneniya protivopozharnyh sudov // *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti*. 2021. № 3 (93). S. 183–198. DOI: 10.25257/TTS.2021.3.93.183-198

4. Yanchenko A.Yu. Podhody k upravleniyu effektivnost'yu tusheniya pozhara s ispol'zovaniem pozharnyh katerov // *Azimut nauchnyh issledovaniy: ekonomika i upravlenie*. 2021. Т. 10. № 3 (36). S. 418–421. DOI: 10.26140/anie-2021-1003-0099

5. Park Yu. Emissions Analysis of the Port Drayage Truck Replacement Program and Local Air Quality: The Case of the Port of New York and New Jersey // *Case Studies on Transport Policy*. 2022. Vol. 10. P. 2243–2250. DOI: 10.1016/j.cstp.2022.05.004

6. Kunambi M.M., Zheng H. Enhancing green ports in Dar es Salaam Port: facility optimization for emission reduction through Mamdani and Sugeno Fuzzy inference systems // *Frontiers in Environmental Engineering*. 2024. Vol. 3. P. 1374622. DOI: 10.3389/fene.2024.1374622

7. Sacuk I.V. Zakonomernosti raspredeleniya i tekhnicheskogo sostoyaniya ekspluatiruemykh pozharnyh avtomobilej po pokazatelyam konstruktivnoj bezopasnosti silovykh ustanovok // *Sibirskij pozharo-spatatel'nyj vestnik*. 2022. № 2 (25). S. 31–38. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2022.27.97.004

8. Assessment and source apportionment of PM<sub>2.5</sub> in a major Latin American port: elevated concentrations from traffic in the Great Atlantic Forest Reserve / B. Gurgatz [et al.] // *Air Quality, Atmosphere & Health*. 2024. Vol. 18. P. 775–791. DOI: 10.1007/s11869-024-01677-1

9. Othman A., El-Gazzar S., Knez M. A framework for adopting a sustainable smart sea port index // *Sustainability*. 2022. Vol. 14. № 8. P. 4551. DOI: 10.3390/su14084551

10. Safety guidelines and a training framework for LNG storage and bunkering at ports / O. Aneziris [et al.] // *Safety Science*. 2021. Vol. 138. P. 105212. DOI: 10.1016/j.ssci.2021.105212

11. Bjerkan K.Yu., Seter H. Reviewing tools and technologies for sustainable ports: does research enable decision making in ports? // *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2019. Vol. 72. P. 243–260. DOI: 10.1016/j.trd.2019.05.003

12. Lobkova K.E. Analiz osnovnykh problem vzniknoveniya avarijnykh situacij pri proizvodstve pogruzo-razgruzochnykh rabot v morskikh portah // *Transportnoe delo Rossii*. 2023. № 5. S. 169–172. DOI: 10.52375/20728689\_2023\_5\_169

13. Lozhkin V.N., Sacuk I.V. Sovershenstvovanie metoda ocenki negativnogo ekologicheskogo vozdejstviya dizel'nykh pozharnyh avtomobilej na rezhime svobodnogo uskoreniya s primeneniem robotizirovannogo manipulyatora // *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*. 2025. № 4 (76). S. 251–266. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-4-251-266

14. Lozhkin V.N., Sacuk I.V. Nauchnoe obosnovanie metodov snizheniya uglerodnogo sleda i dostizheniya klimaticheskoj nejtral'nosti parka pozharnyh avtomobilej kak istochnika ekologicheskoy nagruzki // *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*. 2025. № 4 (76). S. 227–238. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-4-227-238

15. Lozhkin V.N., Sacuk I.V. Diagnostirovanie dizel'nyh pozharnykh avtomobilej s ispol'zovaniem avtomatizirovannogo metoda kontrolya ih ekologicheskoj bezopasnosti v ekspluatácii // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2025. № 4 (91). S. 52–58. DOI: 10.33979/2073-7432-2025-4(91)-52-58
16. Gavkalyuk B.V., Lozhkin V.N. Povyshenie effektivnosti okislitel'nogo kataliza nejtralizatora pozharnoj avtocisterny na rezhimah podachi vody/peny // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2025. № 2 (74). S. 130–138. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-2-130-138
17. Lozhkina O.V., Mal'chikov K.B. Sravnitel'nyj analiz probegovykh vybrosov avtomobilej na razlichnyh vidah topliva pri dorozhnyh zatorah // Vestnik grazhdanskih inzhenerov. 2024. № 2 (103). S. 133–143. DOI: 10.23968/1999-5571-2024-21-2-133-143
18. Kholod N., Evans M. Reducing black carbon emissions from diesel vehicles in Russia: An assessment and policy recommendations // Environmental Science & Policy. 2016. Vol. 56. P. 1–8. DOI: 10.1016/j.envsci.2015.10.017
19. Uovershenstvovannaya metodika raschetnogo monitoringa vybrosov parnikovyx gazov ot deyatelnosti avtomobil'nogo i vnedorozhnogo transporta v Rossijskoj Federacii / Yu.V. Trofimenko [i dr.] // Nauchnyj vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoj aviacii. 2025. T. 28. № 1. S. 78–96. DOI: 10.26467/2079-0619-2025-28-1-78-96
20. Mal'chikov K.B. Sovershenstvovanie metodiki monitoringa i prognozirovaniya opasnogo vozdejstviya avtotransportnyh sredstv i sudov na atmosferu v zonah ih sovместnogo vliyaniya // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2024. № 4 (72). S. 202–211. DOI: 10.61260/1998-8990-2024-4-202-211
21. Lozhkin V.N. Obespechenie ekologicheskoj bezopasnosti silovyh ustanovok pozharnoj tekhniki v usloviyah global'nyh vyzovov // Nauchno-tekhnicheskij sbornik Rossijskogo morskogo registra sudohodstva. 2023. № 1 (72/73). P. 6–12.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 25.01.2026; одобрена после рецензирования: 10.02.2026; принята к публикации: 13.02.2026

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 25.01.2026; approved after review: 10.02.2026; accepted for publication: 13.02.2026

*Информация об авторах:*

**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, <https://orcid.org/0000-0001-6381-0519>, SPIN-код: 9496-2451

**Сацук Иван Владимирович**, старший преподаватель кафедры пожарной и аварийно-спасательной техники Сибирской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (662972, Красноярский край, г. Железногорск, ул. Северная, д. 1), e-mail: kviteren@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-9465-6278>, SPIN-код: 7978-4483

*Information about the authors:*

**Lozhkin Vladimir N.**, professor of the department of fire and emergency rescue equipment and automotive facilities 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, <https://orcid.org/0000-0001-6381-0519>, SPIN: 9496-2451

**Satsuk Ivan V.**, senior lecturer at the department of fire and emergency rescue equipment at the Siberian fire and rescue academy of EMERCOM of Russia (662972, Krasnoyarsk Krai, Zheleznogorsk, Severnaya st., 1), e-mail: kviteren@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-9465-6278>, SPIN: 7978-4483