

Научная статья

УДК 65(1-21):504.3.054:33814; DOI: 10.61260/1998-8990-2024-4-31-39

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЧРЕЗВЫЧАЙНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОЛЛЮТАНТОВ НА ГОРОДСКОЕ НАСЕЛЕНИЕ

Гавкалюк Богдан Васильевич;

✉ **Ложкин Владимир Николаевич.**

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

✉ vnlojkin@yandex.ru

Аннотация. На фоне расширения номенклатуры и модернизации инструментального контроля автомобильных загрязнителей атмосферы, осуществляемого в рамках беспрецедентного ужесточения норм на выбросы в странах Европейского Союза Euro 7, обосновывается разработка и внедрение в Санкт-Петербурге интеллектуальных цифровых систем онлайн мониторинга качества атмосферного воздуха и модельного прогнозирования локальных сверхнормативных превышений концентраций NO₂ в жилых застройках, примыкающих к городским автомагистралям. Прогнозы выполняются по оригинальным математическим моделям с использованием информации о структуре, интенсивности автотранспортных потоков и коэффициентов выбросов вредных (загрязняющих) веществ для пяти учетных групп автомобилей: легковых, микроавтобусов и автофургонов, грузового коммерческого, тяжелого грузового транспорта и автобусов. Система мониторинга внедрена на региональном уровне.

Ключевые слова: урбанизация, автомобили, отработавшие газы, токсичность, потенциал парниковых газов, население, цифровой мониторинг

Для цитирования: Гавкалюк Б.В., Ложкин В.Н. Интеллектуальная поддержка системы мониторинга чрезвычайного воздействия транспортных поллютантов на городское население // Проблемы управления рисками в техносфере. 2024. № 4 (72). С. 31–39. DOI: 10.61260/1998-8990-2024-4-31-39.

Scientific article

INTELLIGENT SUPPORT FOR THE MONITORING SYSTEM OF EMERGENCY IMPACT OF TRANSPORT POLLUTANTS ON THE URBAN POPULATION

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, against the background of the expansion of the nomenclature and modernization of instrumental control of automobile air pollutants, carried out within the framework of the unprecedented tightening of emission standards in the countries of the European Union Euro 7, substantiates the development and implementation in Saint-Petersburg of intelligent digital systems for online monitoring of atmospheric air quality and model forecasting of local excess concentrations of NO₂ in residential buildings adjacent to urban highways. Forecasts are made according to original mathematical models using information on the structure, intensity of traffic flows and emission factors of harmful (polluting) substances

for five accounting groups of cars: passenger cars, minibuses and vans, commercial trucks, heavy trucks and buses. The monitoring system is implemented at the regional level.

Keywords: urbanization, cars, exhaust gases, toxicity, greenhouse gas potential, population, digital monitoring

For citation: Gavkalyuk B.V., Lozhkin V.N. Intelligent support for the monitoring system of emergency impact of transport pollutants on the urban population // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2024. № 4 (72). P. 31–39. DOI: 10.61260/1998-8990-2024-4-31-39.

Введение

Выбросы поллютантов от автотранспорта значительно ухудшают качество воздушной среды в городских районах, что требует принятия адекватных технологических, экономических и политических мер. Результаты измерений авторами CO, CO₂, NO_x на легковых автомобилях [1], работающих на бензине и природном газе в городских условиях Санкт-Петербурга, свидетельствовали о необходимости организации комплексного контроля технического состояния их двигателей для снижения опасного влияния отработавших газов (ОГ) на горожан. Авторы из Беларуси в аналитической работе [2] показали характерную для стран Европейского Союза систематичность в поступательном совершенствовании и изменении экологических требований к выбросам поллютантов с ОГ автомобильных двигателей, доказав, исследовав мировые тенденции, неотвратимость ужесточения глобальных природоохранных стандартов для производителей автотракторной техники во всех странах мира.

В этой связи актуальность работы авторов [3] определяется тем, что она была направлена на углубленное исследование влияния вида топлива (дизельное и бензин, в том числе с добавками к ним ароматических веществ, сжиженный природный газ), технологий нейтрализации и фильтрации ОГ на образование вторичных аэрозолей в атмосфере в теплое и холодное время года. Исследования выполнялись на дизельном (с сажевым фильтром DPF), двух бензиновых (с сажевыми фильтрами GPF) и газобаллонном автомобилях, отвечающих самым высоким экологическим стандартам Euro 6d. Испытания показали решающее влияние на атмосферные процессы образования вторичных аэрозолей внедрения технологий по уменьшению выбросов с ОГ частиц при помощи фильтров как DPF (для дизельных автомобилей), так и GPF (для бензиновых автомобилей) по сравнению с другими исследованными технологиями.

Стремление Европейского Союза достигнуть к 2050 г. климатической нейтральности энергетики совместно с освобождением воздушной среды городов от поллютантов выразилось, кроме прочего, представлением в 2022 г. Европейской комиссией нового регламента по одобрению типа транспортных средств Euro 7. Он предполагает ужесточение отдельных норм выбросов с ОГ веществ по действующим стандартам на CO, CnHm, CO₂, NO_x, SO₂, PM вместе с расширением номенклатуры контролируемых загрязнителей: N₂O, NH₃, CH₄, HCHO, SPN₁₀ – частицам размером более 10 нм (100 Å) и температурного диапазона их контроля от -7 °C до 35 °C. Последнее вызвало интерес в мировом сообществе к разработке альтернативных методов и аппаратуры для сертификационных испытаний транспортных средств на соответствие Euro 7 и оценкам удовлетворения/неудовлетворения достигнутого фирмами-производителями уровня экологичности автотранспорта данному регламенту.

Так, исследованиями авторов [4] было показано, что уровень неопределенности при измерениях концентраций в ОГ веществ, регламентированных Euro 7, альтернативными методами инфракрасной лазерной абсорбционной модуляции (IRLAM) и инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье (FTIR) сопоставим «стандартным» измерительным

технологиям по регламенту Euro 6. Исследованиями [5] было показано, что, например, для гибридного дизельного городского автобуса, соответствующего самому высокому на сегодняшний день экологическому уровню Euro VI-C, возникают серьезные проблемы с достижением уровня требований Euro 7 по NO_x , SPN_{10} и N_2O .

Принимая во внимание объективное влияние на уровень локального загрязнения атмосферы не только объема эмиссии поллютантов от автомагистралей, определяемого реальным экологическим состоянием автотранспорта, но и режима естественного «проветривания» территорий в их окрестности ветровым движением воздушных масс, авторы [6], на основании замеров концентраций загрязняющих веществ в пределах санитарно-защитных зон от автодорог в Санкт-Петербурге, пришли к выводу о нецелесообразности контроля таких специфических веществ ОГ автомобилей, как: CH_2O , CH_4 , Pb в составе с соединениями $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}$, C_6H_6 на региональном уровне вследствие того, что данные объективных замеров концентраций этих веществ оказались существенно меньше значений ПДК_{МР}.

Интеллектуальные автотранспортные технические системы находят сегодня применение на всех этапах создания и эксплуатации автомобилей. Так, в работе [7] в целях комплексной оптимизации рабочих процессов комбинированных автомобильных дизельных двигателей авторы использовали универсальное программное обеспечение испытательного оборудования AVL CRUISE M. Программа позволила численным экспериментом путем цифрового виртуального моделирования ездовых циклов в городских условиях движения доказательно обосновать возможность существенного снижения расхода топлива заменой четырехцилиндрового дизеля классического исполнения на трехцилиндровую комбинированную силовую установку. Тем самым сократить затраты на проведение трудоемких доводочных сравнительных экспериментальных исследований на автомобилях и двигателях. В работе [8] авторы виртуально-цифровым образом реализовали алгоритмы расчета выбросов в атмосферу CO , CH , NO_2 , SO_2 , PM (сажа) согласно методике действующего ГОСТ Р 56162–2014 «Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Метод расчета выбросов от автотранспорта при проведении сводных расчетов для городских населенных пунктов» на основе данных интенсивности автотранспортного потока и использования статистической модели нормального распределения. Оригинальная методика протестирована на улично-дорожной сети г. Воронежа. Решение практических задач, связанных с моделированием и прогнозированием загрязнения воздушной среды городов ОГ автотранспорта, требуют сегодня применения математических моделей атмосферной диффузии опасных веществ в приземных слоях атмосферы с использованием дифференциальных уравнений [9], искусственных нейронных сетей и суперкомпьютеров [10]. В данной статье исследовалось загрязнение NO_2 .

Объекты и методика исследования

Объектами для демонстрации оригинальной методики интеллектуальной поддержки системы контроля чрезвычайного воздействия автотранспортных поллютантов на городское население был взят один из напряженнейших участков кольцевой автомагистрали в Санкт-Петербурге – вантовый переход через р. Нева «Мост Обуховский» – рис. 1 а и установленные на нем инструменты (датчики) – рис. 1 б, отслеживающие в реальном времени данные о структуре и интенсивности транспортного потока в соответствии с требованиями межгосударственного стандарта (ГОСТ 32965–2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Методы учета интенсивности движения транспортного потока») (введен в действие приказом Росстандарта от 31 августа 2016 г. № 997-ст) (<https://webmaster.yandex.ru/siteinfo/?site=mtdi.mosreg.ru>).



Рис. 1. а – «Мост Обуховский»; б – датчики контроля автотранспортного потока

Исходные данные о количестве и скорости движения в общем потоке были ранжированы системой цифрового мониторинга по группам: MID SIZE 1 (Грузовые < 5 т); MID SIZE 2 (Грузовые 5–12 т); LONG VEN 1 (Грузовые 12–20 т); LONG VEN 2 (Грузовые > 20 т); VOLUME – общее количество транспортных средств; XLONG VEN – автомобили, относимые к легковому транспорту.

Таким образом, получаемая онлайн-информация с датчиков, по сути, непрерывно, с интервалом в 5 мин, поставляет весь необходимый объем сведений о «логистике» движущегося автотранспорта в актуальные временные периоды: часы, сутки, недели. Итоговый выброс поллютантов от всего потока автомобилей на вантовом переходе рассчитывался по выражению:

$$M_j = \frac{L}{3600} \sum_1^n E_{jk} G_K r_{jk}, \quad (1)$$

где M_j – скорость эмиссии с ОГ j -го поллютанта от потока (г/с); L – длина участка магистрали вантового перехода, км; E_{jk} – коэффициент эмиссии j -го поллютанта для автомобилей k -й учетной категории (г/км); G_K – средняя скорость передвижения по вантовому переходу автомобилей k -й учетной категории (км/ч); r_{jk} – коэффициент, не имеющий размерности, учета зависимости фактора эмиссии j -го поллютанта для автомобилей k -й учетной категории; $n = 5$ – число учитываемых категорий в общем потоке автомобилей: легковой, Л; автофургоны и микроавтобусы до 3,5 т включительно, АМ; грузовой 3,5–12 т включительно, Г≤12; грузовой более 12 т, Г>12; большие автобусы, более 3,5 т, А>3,5.

Исследование физико-математических закономерностей миграции в атмосфере поллютантов ОГ, исходящих от автотранспортного потока на вантовом переходе, осуществлялось путем подхода, разработанного Главной геофизической обсерваторией им. А.И. Воейкова [9] как для установившегося во времени процесса и условий равнинной однородной местности:

$$u \frac{\partial q}{\partial x} + w \frac{\partial q}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} k_x \frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} k_z \frac{\partial q}{\partial z} - \alpha q,$$

где q – концентрация исследуемого поллютанта; x – ось, расположенная в горизонтальной плоскости по направлению ветра; z – ось по вертикали; t – текущее время; u , w – раскладываемые по осям значения средней скорости перемещения поллютантов в атмосфере; k_x , k_z – осевые компоненты коэффициента турбулентного обмена; α – коэффициент учета химического метаболизма, например, окисления в атмосфере NO в NO₂.

Конкретные практические рекомендации по использованию методологии [9] отражены в рекомендациях Минприроды Российской Федерации – приказ от 6 июня 2017 г. № 273 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих)

веществ в атмосферном воздухе». В соответствии с данными рекомендациями расчетное значение максимальной концентрации загрязнителя на уровне вдыхания человеком воздуха от поверхности земли C_M , $\text{мг}/\text{м}^3$, ожидается достигается при неблагоприятном сочетании метеоклиматических параметров физического состояния атмосферы на удалении X_M , м, от вантового перехода как источника эмиссии загрязнителей. Она оценивается по формуле:

$$C_M = \frac{AM_j F_m n \eta}{H^2 \sqrt[3]{V_1 \Delta T}}$$

где C_M – расчетная величина «разовой максимальной концентрации» загрязнителя на удалении X_M от источника, $\text{г}/\text{м}^3$; M_j – скорость эмиссии с ОГ j -го загрязнителя (формула (1), $\text{г}/\text{с}$; F – коэффициент, не имеющий размерности. Он характеризует седиментацию РМ в зависимости от их размера (для NO_2 $F = 1$); η – коэффициент, не имеющий размерности. Он характеризует ландшафтный рельеф земной поверхности. Для исследуемого участка городской местности $\eta = 1$, поскольку перепад высот на нем не превышает 50 м; n – коэффициент, не имеющий размерности. Он характеризует температуру и геометрический профиль потока ОГ, отходящего от источника; A – коэффициент, не имеющий размерности. Он характеризует физическое состояние атмосферы, способствующее рассеянию загрязнителей в горизонтальном и вертикальном направлениях (стратификацию атмосферы); H – уровень расположения источника, м, относительно земной/водной поверхности; ΔT ($^\circ\text{C}$) – разность температур газового потока, эмитируемого источником и атмосферного воздуха; V_1 – объемная интенсивность эмиссии загрязнителя, $\text{м}^3/\text{с}$.

Результаты исследования

В качестве примера на рис. 2 показаны выявленные закономерности «суточного хода», а на рис. 3 – «недельного хода» изменения интенсивности движения автомобилей на вантовом переходе «Мост Обуховский».

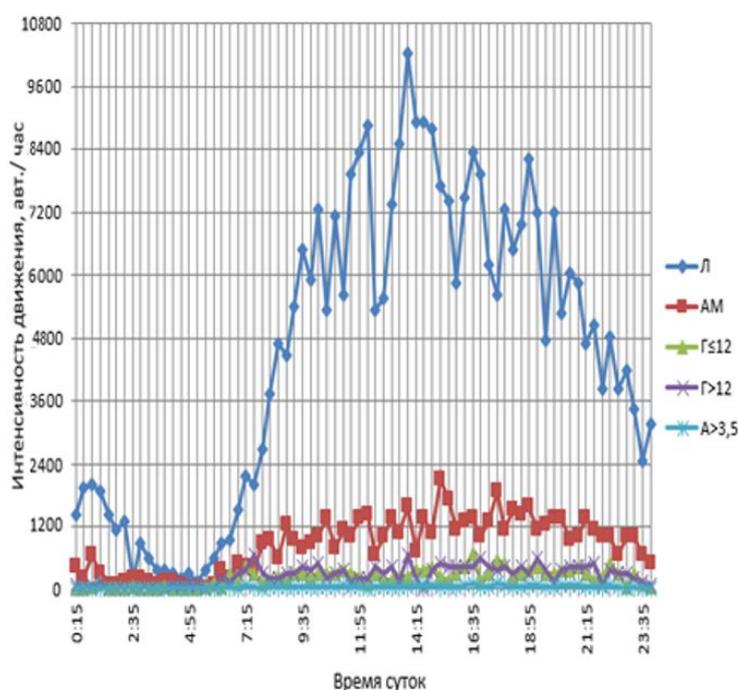


Рис. 2. Изменение в течение суток интенсивности автотранспортного потока на участке «Мост Обуховский» Санкт-Петербурга по исследованным учетным группам

Они получены обработкой цифровой информации датчиков, установленных по каждой полосе движения автомобилей на вантовом мосту – рис. 1 б.

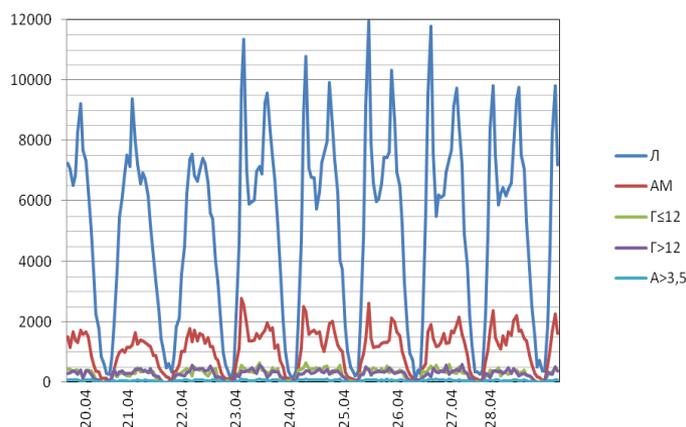


Рис. 3. Недельная изменчивость интенсивности движения автотранспорта на вантовом переходе «Мост Обуховский» Санкт-Петербурга по учетным группам автотранспорта

Представленные на рис. 2 данные свидетельствуют о крайне выраженной изменчивости интенсивности движения в течение суток по всем исследованным категориям автотранспорта, а анализ данных, приведенных на рис. 3, свидетельствует об относительной устойчивости соотношений суточных объемов автотранспортных потоков между исследованными категориями автомобилей.

При составлении прогноза загрязнения воздуха в окрестности вантового перехода «Мост Обуховский» основной интерес представляли численные оценки превышения ПДК_{МР} расчетными значениями концентраций загрязнителей в пределах санитарно-защитной зоны. Для определения условий формирования концентраций загрязнителей целесообразно проводить расчеты для неблагоприятных (чрезвычайно опасных) метеорологических условий (слабая турбулентность и температурные инверсии в нижних слоях атмосферы). С целью повышения эффективности расчетного прогнозирования особо опасного воздействия загрязнителей на население, жизнедеятельность которого протекает в санитарно-защитной зоне, примыкающей к вантовому переходу «Мост Обуховский» (рис. 4), было использовано сертифицированное программное обеспечение «Магистраль» совместно с «Экологом», разработанное научно-производственной фирмой «Интеграл-Софт» (Санкт-Петербург).

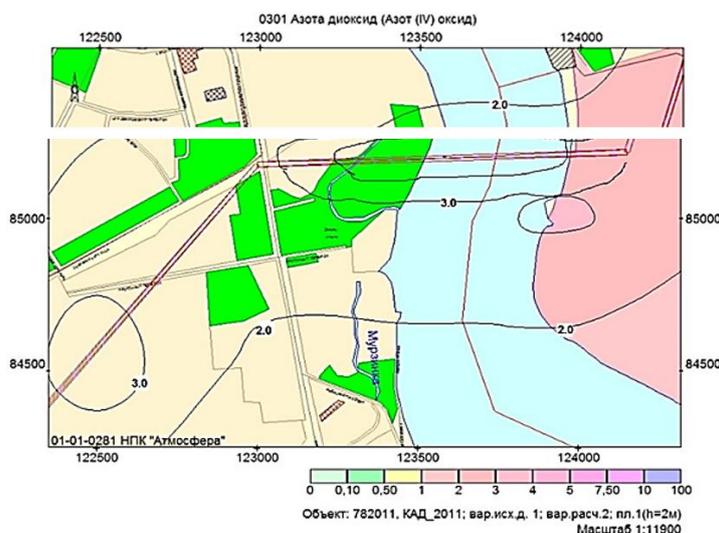


Рис. 4. Прогноз загрязнения атмосферы NO_2 (в соотношении расчетных концентраций к ПДК_{МР}) в акватории р. Невы у вантового перехода «Мост Обуховский» в Санкт-Петербурге

Как можно заметить из анализа рис. 4, при стечении неблагоприятных транспортно-климатических условий (часы пик, штиль в сочетании с температурной приземной инверсией) в санитарно-защитной зоне, примыкающей к вантовому переходу «Мост Обуховский», можно ожидать локальные участки с трехкратным превышением концентрации NO_2 по отношению к $\text{ПДК}_{\text{МР}}$.

Заключение

Разработан оригинальный метод автоматизированного отслеживания сведений о типовой структуре и скоростном режиме передвижения автотранспорта на дорожной сети города с последующим использованием данных для численного прогнозирования по адекватным математическим моделям загрязнения воздушной среды поллютантами в особо опасных метеотранспортных ситуациях (часы пик, штиль в сочетании с приземными инверсиями температуры воздуха). Данный метод в комплексной постановке не имеет аналогов в мире. Его рекомендуется применять при осуществлении деятельности, направленной на оздоровление окружающей среды в городах Российской Федерации.

Список источников

1. Lozhkina O.V., Malchikov K.B. Comparative analysis of pollutant content in exhaust gases of passenger cars operating with different types of fuel // Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы. Пожарная и экологическая безопасность зданий в России и ЕАЭС. 2023. P. 21–23. EDN AJAZIK.
2. Корпач А.А., Левковский А.А. Обзор действующих и перспективных требований по ограничению выбросов вредных веществ с отработавшими газами двигателей легковых автомобилей // Автотракторостроение и автомобильный транспорт: сб. науч. трудов: в 2-х т. Минск: Белорусский нац. техн. ун-т, 2021. Т. 1. С. 153–156. EDN WJNGQF.
3. Towards zero pollution vehicles by advanced fuels and exhaust aftertreatment technologies / S. Saarikoski [et al.] // Environmental Pollution. 2024. Vol. 347. P. 123665. DOI: 10.1016/j.envpol.2024.123665. EDN RIFUYA.
4. 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.
5. Euro 7 proposal assessment of a Euro VI parallel hybrid electric bus / N. Gonzalez Fonseca [et al.] // Transportation Research Part D: Transport and Environment. 2024. Vol. 129. P. 104125. DOI: 10.1016/j.trd.2024.104125.
6. Гавкалюк Б.В., Ложкин В.Н. Обоснование чрезвычайно значимых характеристик конструктивной безопасности автотранспорта для городского населения // Проблемы управления рисками в техносфере. 2024. № 3 (71). С. 33–40. DOI: 10.61260/1998-8990-2024-3-33-40.
7. Применение комплекса AVL CRUISE M для моделирования работы двигателя в составе транспортного средства / А.С. Стряпунин [и др.] // Двигателестроение. 2023. № 4 (294). EDN: LBSLUM. DOI: 10.18698/jec.2023.4.16-23.
8. Computer-based calculation of atmospheric pollutant emissions by automobile transport at controlled crossings / G. Denisov [et al.] // MATEC Web Conf. The VI International Scientific and Practical Conference «Information Technologies and Management of Transport Systems» (ITMTS 2020). 2021. Vol. 334. P. 02032. DOI: 10.1051/matecconf/202133402032.
9. Air Pollution Modelling at an Urban Scale – Russian Experience and Problems / E.L. Genikhovich [et al.] // Water, Air, & Soil Pollution: Focus 2. 2002. P. 501–512. DOI: 10.1023/A:1021336829300.

10. Vasilyev A., Tarkhov D. Mathematical Models of Complex Systems on the Basis of Artificial Neural Networks // *Nonlinear Phenomena in Complex Systems*. 2014. Vol. 17. № 3. P. 327–335.

References

1. Lozhkina O.V., Malchikov K.B. Comparative analysis of pollutant content in exhaust gases of passenger cars operating with different types of fuel // *Servis bezopasnosti v Rossii: opyt, problemy, perspektivy. Pozharnaya i ekologicheskaya bezopasnost' zdaniy v Rossii i EAES*. 2023. P. 21–23. EDN AJAZIK.

2. Korpach A.A., Levkovskij A.A. Obzor dejstvuyushchih i perspektivnyh trebovanij po ogranicheniyu vybrosov vrednyh veshchestv s otrabotavshimi gazami dvigatelej legkovykh avtomobilej // *Avtotraktorostroenie i avtomobil'nyj transport: sb. nauch. trudov: v 2-h t. Minsk: Belorusskij nac. tekhn. un-t, 2021. T. 1. S. 153–156. EDN WJNGQF*.

3. Towards zero pollution vehicles by advanced fuels and exhaust aftertreatment technologies / S. Saarikoski [et al.] // *Environmental Pollution*. 2024. Vol. 347. P. 123665. DOI: 10.1016/j.envpol.2024.123665. EDN RIFUYA.

4. 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.

5. Euro 7 proposal assessment of a Euro VI parallel hybrid electric bus / N. Gonzalez Fonseca [et al.] // *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2024. Vol. 129. P. 104125. DOI: 10.1016/j.trd.2024.104125.

6. Gavkalyuk B.V., Lozhkin V.N. Obosnovanie chrezvychno znachimykh harakteristik konstruktivnoj bezopasnosti avtotransporta dlya gorodskogo naseleniya // *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*. 2024. № 3 (71). S. 33–40. DOI: 10.61260/1998-8990-2024-3-33-40.

7. Primenenie kompleksa AVL CRUISE M dlya modelirovaniya raboty dvigatelya v sostave transportnogo sredstva / A.S. Stryapunin [i dr.] // *Dvigatelistroenie*. 2023. № 4 (294). EDN: LBSLUM. DOI: 10.18698/jec.2023.4.16-23.

8. Somputer-based calculation of atmospheric pollutant emissions by automobile transport at controlled crossings / G. Denisov [et al.] // *MATEC Web Conf. The VI International Scientific and Practical Conference «Information Technologies and Management of Transport Systems» (ITMTS 2020)*. 2021. Vol. 334. P. 02032. DOI: 10.1051/mateconf/202133402032.

9. Air Pollution Modelling at an Urban Scale – Russian Experience and Problems / E.L. Genikhovich [et al.] // *Water, Air, & Soil Pollution: Focus* 2. 2002. P. 501–512. DOI: 10.1023/A:1021336829300.

10. Vasilyev A., Tarkhov D. Mathematical Models of Complex Systems on the Basis of Artificial Neural Networks // *Nonlinear Phenomena in Complex Systems*. 2014. Vol. 17. № 3. P. 327–335.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 03.11.2024; одобрена после рецензирования: 17.11.2024;
принята к публикации: 11.12.2024

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 03.11.2024; approved after review: 17.11.2024;
accepted for publication: 11.12.2024

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

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