

Научная статья

УДК 65(1-21):504.3.054:33814; DOI: 10.61260/1998-8990-2024-3-33-40

ОБОСНОВАНИЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНО ЗНАЧИМЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНСТРУКТИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОТРАНСПОРТА ДЛЯ ГОРОДСКОГО НАСЕЛЕНИЯ

Гавкалюк Богдан Васильевич;

✉ **Ложкин Владимир Николаевич.**

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

✉ vnlojkin@yandex.ru

Аннотация. На основе обследования структуры, скорости движения автотранспорта и замеров, актуальных для населенных мест по шкале Всемирной организации здравоохранения, поллютантов в воздухе Санкт-Петербурга (NO_2 , NO , CO , SO_2 , CH_2O , CH_4 , Pb в составе с соединениями, $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}$, C_6H_6 и $\text{C}_{20}\text{H}_{12}$) обосновываются чрезвычайно значимые для городского населения санитарно-гигиенические характеристики конструктивной безопасности силовых установок транспортных средств. Измерениями концентраций поллютантов и расчетными прогнозами по оригинальным моделям показано, что к 2019–2023 гг. путем экологизации автотранспорта удалось существенно «оздоровить» обстановку в окрестности оживленных автомагистралей Санкт-Петербурга. Научные результаты моделирования рассеяния поллютантов с учетом специфики климата нашли отражение в сертифицированных электронных продуктах (программах), региональных и национальных нормативных документах.

Ключевые слова: город, автотранспорт, опасное/чрезвычайное загрязнение атмосферы, измерение поллютантов, моделирование

Для цитирования: 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.

Scientific article

JUSTIFICATION OF EXTREMELY SIGNIFICANT CHARACTERISTICS OF STRUCTURAL SAFETY OF ROAD TRANSPORT FOR 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. Based on the survey of the structure, speed of motor transport and measurements relevant for populated areas according to the World Health Organization scale, pollutants in the air of Saint-Petersburg (NO_2 , NO , CO , SO_2 , CH_2O , CH_4 , Pb in the composition with compounds, $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}$, C_6H_6 and $\text{C}_{20}\text{H}_{12}$), the sanitary and hygienic characteristics of the design safety of vehicle power plants, which are extremely important for the urban population, are substantiated. Measurements of pollutant concentrations and calculated forecasts according to original models show that by 2019–2023, through the greening of motor transport, it was possible to significantly improve the situation in the vicinity of busy highways of Saint-Petersburg. The scientific results

of pollutant dispersion modeling, taking into account the specifics of the climate, are reflected in certified electronic products (programs), regional and national regulatory documents.

Keywords: city, motor transport, hazardous/extreme air pollution, pollutant measurement, modeling

For citation: Gavkalyuk B.V., Lozhkin V.N. Justification of extremely significant characteristics of structural safety of road transport for the urban population // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2024. № 3 (71). P. 33–40. DOI: 10.61260/1998-8990-2024-3-33-40.

Введение. Состояние вопроса

В крупных урбанизированных мегаполисах, к которым относится Санкт-Петербург, безопасность среды проживания для городского населения в доминирующей степени определяется содержанием в воздухе особо опасных химических загрязняющих веществ (ЗВ) отработавших газов (ОГ) бензинового [1] и дизельного [2] автотранспорта, к которым относят: $PM_{2.5}$ (сажа) [3], SO_2 , CO, NO_x , CH_4 , NH_3 , ЛОС, БП ($C_{20}H_{12}$) – бенз(а)пирен.

Известно (Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2023 г. / под ред. А.В. Германа, И.А. Серебрицкого. СПб.: 2024. 221 с. URL: <https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/ecology/statistic/development/> (Доклад), что уровень опасности для населения загрязнения воздушной среды города определяется не только объемами выбросов ЗВ от автотранспорта и составом входящих в них химических элементов, но и характерными для конкретных климатических условий региона гидрометеорологическими факторами (стратификация атмосферы, осадки, ветровая нагрузка, геометрия инфраструктурной застройки, физическое состояние ландшафтов), формирующих закономерности локальных движений воздушных масс, насыщенных ЗВ, и метаболизм последних [4].

Морской климат региона Санкт-Петербурга, в сравнении с другими городами Российской Федерации (Доклад), характеризуется несколько более благоприятными климатическими условиями для рассеивания и «вымывания» обильными осадками опасных автотранспортных ЗВ, влияющих на степень загрязненности воздуха. Согласно розе ветров (рис. 1) в течение года Санкт-Петербург интенсивно «продувается» ветрами юго-западного (в среднем – 22 %) и западного (в среднем – 18 %) направлений ветровой нагрузки.

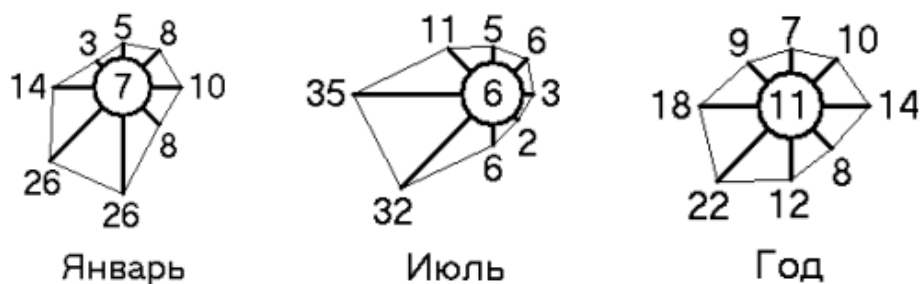


Рис. 1. Актуальные схемы розы ветров в течение января, июля и за 2023 г. в регионе Санкт-Петербурга

Принимая во внимание отмеченную региональную специфику, авторы работы [5] предлагают назначать коэффициенты предельных выбросов ЗВ автотранспорта в соподчиненности с реальными метеорологическими ситуациями, складывающимися на конкретных территориях, а ситуации оценивать по измеряемым (расчетным) значениям концентраций ЗВ в соотношении этих значений к ПДК (предельно допустимым санитарно-гигиеническим значениям концентраций ЗВ).

Последствиями дореволюционной застройки центральной части Санкт-Петербурга стали дворы-колодцы, в которых при внешней ветровой нагрузке вероятно ожидать интенсивные «перекрестные» движения воздушных масс (как в «аэродинамических трубах»). Опасность таких ситуаций исследована в работе [6], в которой экспериментальным и расчетным (по математической модели) путем установлено увеличение (за счет «перекрестного» движения воздуха) концентрации CO_2 с базового значения 400 ppm до 3 211 ppm при достижении скорости ветра с внешней стороны двора-колодца 4,51 м/с.

В статье [7] представлены результаты измерений на динамометрическом стенде состава ОГ и расхода топлива дизельного легкового автомобиля в зависимости от скорости его движения по стандартному ездовому циклу. Для оценки взаимосвязей между этими тремя переменными использовалась теория линейной корреляции Пирсона (монография [8]). Были обнаружены существенные различия в коэффициентах корреляции между отдельными переменными, что подтвердило необходимость принятия комплексных мер по снижению выбросов ЗВ и расхода топлива.

В работе [9] по оригинальным процедурам измерялись выбросы CO_2 и NO_x от 149 дизельных, бензиновых и гибридных легковых автомобилей экологических классов *Euro 5* и *Euro 6* при движении в реальных городских условиях. Показано, что стандартные ездовые циклы при испытаниях на динамометре в стремлении точно воспроизвести усредненные реальные условия городского вождения, включая и скоростные автомагистрали, в то же время необязательно могут отражать как реальные условия движения в потоке, так и характер самого вождения водителями, а следовательно, – и реальные выбросы ЗВ. Поэтому в последние годы значительные научные усилия были направлены на измерение и анализ реальных выбросов транспортных средств [9].

В новейшей истории качество проживания населения в крупном мегаполисе стало существенно зависеть от уровня доступности и внедрения новейших интеллектуально-информационных инструментов формирования «здоровой» автомобильно-транспортной городской среды [10] с решением проблем «углеродной нейтральности» [11]. В работе [12] применительно к республике Татарстан на анализе передового отечественного и мирового опыта предлагаются эффективные организационные и нормативно-правовые основы, а также оригинальные специфические инструменты комплексного решения данного вопроса путем создания распределенного ситуационного центра.

Выполненный анализ состояния проблемы убедил авторов настоящей статьи в необходимости обоснования для региона Санкт-Петербурга перечня чрезвычайно значимых поллютантов и технических характеристик конструктивной безопасности автотранспорта для городского населения.

Объекты, методы модели и результаты

В целях обоснования санитарно-гигиенической значимости отдельных чрезвычайно опасных ЗВ, по которым согласно с требованиями Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) следует проводить регулярные наблюдения [5], совместно с АО «НИИ Атмосфера» (Санкт-Петербург) были организованы и проведены научные изыскания в Санкт-Петербурге – культурной и водной российской столице, транспортные, демографические, социально-экономические и экологические проблемы в которой репрезентативны большим городам Российской Федерации и других стран [5].

Программа экспериментальных работ предусматривала натурные обследования структуры и интенсивности автотранспортных потоков, а также инструментальные замеры содержания в воздухе ЗВ. Данные работы проводились на нескольких участках автомагистралей, существенно отличающихся загруженностью автотранспортом, а именно: на трех перегонах с повышенной интенсивностью потока (пр. Непокоренных, шоссе Рябовское и Пискаревский пр.; один перегон по ул. Харченко с интенсивностью около 300 авт./час). Длина перегонов составляла на пр. Непокоренных – 3,03 км, на шоссе Рябовском – 2,75 км, на ул. Харченко – 0,475 км, на Пискаревском пр. – 1,08 км.

В качестве примера на рис. 2 показан фрагмент ГИС-карты в окрестности ул. Харченко, на которой отмечены три точки (позиции) проведения измерений концентраций в пределах границы санитарно-защитной зоны ЗВ.



Рис. 2. Схема расположения трех мест измерений концентраций ЗВ по ул. Харченко (Санкт-Петербург)

В ходе исследовательских изысканий были проведены измерения содержания в атмосферном воздухе опасных для населения химических веществ, на которые в Российской Федерации установлено предельное содержание в воздухе населенных мест (ПДК_{М.Р.}): NO₂, NO, CO, SO₂, CH₂O, CH₄, Pb в составе с соединениями, C₃H₄O, C₆H₆, C₂₀H₁₂.

Отбор проб с ЗВ из воздуха и их анализ осуществлялись аттестованными методами аккредитованных по исследовательской цели лабораторий. Протоколы взятия проб и инструментальной оценки концентраций ЗВ соответствовали согласованным в установленном порядке методикам. Значения для принятых модельных категорий автотранспорта средних скоростей в общем потоке определялись передвижной (на автомобильном шасси), лабораторией АО «НИИ Атмосфера».

Использованная в расчетах математическая модель рассеяния ЗВ для нормально-неблагоприятных метеорологических условий являлась частным случаем климатических подходов [4]:

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

где x и y представляют собой горизонтальные оси; z – вертикальная координатная ось; t – переменная времени. Переменные u , v , w обозначают составляющие средней скорости перемещения твердых частиц в стратифицированной атмосфере, соответственно, в направлениях осей x , y , и z . Параметры k_x , k_y и k_z представляют собой горизонтальные и вертикальную составляющую коэффициента обмена. Параметр α описывает влияние физико-химической трансформации ЗВ, мигрирующих в атмосфере.

Натурные обследования по разработанному с участием авторов национальному стандарту Российской Федерации (ГОСТ Р 56162–2019 «Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Метод расчета количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферу потоками автотранспортных средств на автомобильных дорогах разной категории») и инструментальные замеры выполнялись по каждому участку магистрали. Концентрации ЗВ определялись в трех точках (рис. 1) на расстояниях, соответственно, 20–50 м, 100–150 м и 200–250 м (расположение позиций уточнялось по реальным значениям интенсивностей движения автомобилей, направлениям и скоростям ветра). На каждом месте в продолжение трех суток измерения проводились три раза в течение 20 мин каждого часа во временные интервалы максимальной интенсивности движения (с 8 до 9 ч, с 11 до 12 ч и с 17 до 20 ч) – часы «пик».

Расчеты выбросов ЗВ производились программой «Магистраль-Город», версия 4.0.2 (регистрационный номер: 01-01-3721) по действующему документу, разработанному при непосредственном участии авторов статьи: «Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от передвижных источников для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха» (приказ Минприроды России от 27 ноября 2019 г. № 804 «Об утверждении методики определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от передвижных источников для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха»).

Лабораторный анализ проб воздуха по всем участкам обследованных автомагистралей (протоколы анализа ввиду огромного объема материалов в статье не приводятся) показал, что на удалении от 160 до 220 м от проезжих полос обследованных дорог содержание в воздухе измеренных концентраций «специфических» загрязняющих веществ существенно меньше установленных ПДК_{М.Р.}: по CH_2O – от 5 до 16 раз; по Pb в составе с соединениями – более чем в 10–20 раз; по $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}$ – более чем в 2–3 раза; по C_6H_6 – более чем в 6 раз; по CH_4 – более чем в 50 раз.

Эти новые объективные сведения, полученные в ходе научных изысканий, были использованы авторами для методологического уточнения актуального на сегодняшний день перечня и численных значений чрезвычайно значимых характеристик конструктивной безопасности автотранспорта, эксплуатируемого в Санкт-Петербурге, а именно удельных значений по временной, г/с, и линейной, г/км, шкалам, выбросов ЗВ с ОГ автотранспорта. В таблице в качестве иллюстрации работоспособности методологических уточнений модели прогнозирования выбросов ЗВ с ОГ автотранспорта приведены результаты численного расчетного сравнения значений «максимальных разовых» и валовых годовых выбросов ЗВ с ОГ автотранспорта для ул. Харченко – по исходным обобщенным ситуационным данным 2010 г. и 2019–2023 гг.

Таблица

Сравнение расчетных значений «максимальных разовых» и «валовых годовых» выбросов ЗВ по данным технического состояния автотранспорта в Санкт-Петербурге на 2010 г. и 2019–2023 гг.

Код	Наименование ЗВ	г/с			т/г		
		2010 г.	2019–2024 гг.	уменьшение, %	2010 г.	2019–2024 гг.	уменьшение, %
Автомагистраль № 3 – ул. Харченко							
0010	PM _{2,5}	Не учит.	0,0002127	–	Не учит.	0,006095	–
0301	Азота диоксид	0,0223059	0,0125158	43,89	0,639180	0,358643	43,89
0304	Азота оксид	0,0036247	0,0020338	43,89	0,103867	0,058279	43,89
0328	Углерод (Сажа)	0,0002474	Не учит.	–	0,007088	Не учит.	–
0330	Серы диоксид	0,0001992	0,0000910	54,32	0,005709	0,002609	54,32
0337	Углерода оксид	0,0466569	0,0159387	65,84	1,336963	0,456726	65,84
0410	Метан	Не учит.	0,0004730	–	Не учит.	0,013554	–
0703	Бензо(α)-пирен	0,000000005	0,0000000024	54,18	0,00000013	0,000000061	54,18
1325	Формальдегид	0,0000492	0,0000192	60,98	0,001411	0,000549	60,98
2704	Бензин (нефтяной, малосернистый) – в пересчете на углерод	0,0106810	0,0033802	68,35	0,306066	0,096862	68,35
2732	Керосин	0,0019354	0,0003105	83,96	0,055460	0,008897	83,96

Результаты расчетных исследований, представленные в таблице, убедительно свидетельствуют о значительном уменьшении уровня опасного воздействия автотранспортных средств разных категорий на население Санкт-Петербурга за последние 10–14 лет. Вместе с ростом в структуре эксплуатируемого парка автомобилей более высоких экологических классов значения выбросов ЗВ с ОГ как «максимальные разовые», так и «валовые годовые» существенно снизились.

Выводы

1. На основании выполненных обзорно-аналитических, расчетно-теоретических и экспериментальных исследований уточнен перечень актуальных ЗВ веществ, в отношении которых необходимо проводить регулярные расчетные оценки их опасного/чрезвычайного воздействия на население Санкт-Петербурга. В перечень включены вещества, для которых установлены нормативы выбросов для автотранспорта согласно требованиям сертификации силовых установок и автомобилей при выпуске их в обращение в странах Евразийского партнерства.

2. Целесообразно, чтобы усредненные значения пробеговых выбросов ЗВ устанавливались для учетных категорий АТС (легковые АТС, автофургоны и микроавтобусы, грузовые АТС от 3,5 до 12 т, грузовые АТС свыше 12 т, автобусы свыше 3,5 т) с учетом представительности, для каждой их категории, АТС разных экологических классов и разных типов (с бензиновыми, дизельными двигателями, двигателями, работающими на сжиженном нефтяном или сжатом природном газе).

3. Независимо от выбора инвентаризационного подхода количественного учета выбросов в атмосферу ЗВ, базовый принцип может быть только одним – экологические свойства транспортного средства в реальной эксплуатации должны устанавливаться в зависимости от конструкции двигателя, текущего технического состояния транспортного средства и двигателя, режима эксплуатации на дороге (нагрузка и скорость движения), качества топлива.

Список источников

1. Суфиянов Р.Ш. Исследование химического состава выхлопных газов бензиновых двигателей внутреннего сгорания // Вестник технологического университета. 2018. № 12 (21). С. 98–101.
2. Emissions from Light-Duty Diesel and Gasoline In-Use Vehicles Measured on Chassis Dynamometer Test Cycles / Célia A. Alves¹ [et al.] // Aerosol and Air Quality Research. 2015. Vol. 15. P. 99–116. DOI: 10.4209/aaqr.2014.01.0006//.
3. Ложкина О.В., Малышев С.А., Хахленов А.В. Исследование опасного загрязнения придорожного воздуха мелкодисперсными взвешенными частицами PM₁₀ и PM_{2,5} на примере Санкт-Петербурга // Проблемы управления рисками в техносфере. 2021. № 2 (59). С. 96–103.
4. Безуглая Э.Ю., Загайнова М.С., Ивлева Т.П. Некоторые результаты оценки изменения атмосферной химической активности // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. 2017. № 584. С. 201–220.
5. 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.
6. Pollutant cross-transmission in courtyard buildings: Wind tunnel experiments and computational fluid dynamics (CFD) evaluation / H. Sun [et al.] // Building and environment. 2024. Vol. 264. № 111919. DOI: 10.1016/j.buildenv.2024.111919.
7. Sordyl A., Chlopek Z., Merkisz J. Correlation studies of processes: vehicle velocity, pollutant emissions, and vehicle fuel consumption in the world-wide light-duty test cycle // Transport problems. 2024. Vol. 19. Iss. 2. P. 229–241. DOI: 10.20858/tp.2023.19.2.18165.

8. Таранцев А.А. Регрессионный анализ и планирование испытаний в задачах принятия решений: монография. СПб.: ИПТ РАН, 2017. 174 с.
9. Real world CO₂ and NO_x emissions from 149 Euro 5 and 6 diesel, gasoline and hybrid passenger cars / Rosalind O'Driscoll [et al.] // *Science of The Total Environment*. 2018. Vol. 621. № 15. 2018. P. 282–290. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.11.271.
10. Донченко В.В. Методические основы организации экологических зон с низкими выбросами автомобильного транспорта: монография / В.В. Донченко [и др.]. СПб.: Изд-во «Коста», 2023. 264 с.
11. 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.
12. Системы ситуационных центров в Республике Татарстан: метод. рекомендации / Р.Н. Минниханов [и др.]. Казань: Фолиант, 2022. Ч. 1. 212 с.

References

1. Sufiyanov R.Sh. Issledovanie himicheskogo sostava vyhlopnyh gazov benzinovyh dvigatelej vnutrennego sgoraniya // *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*. 2018. № 12 (21). S. 98–101.
2. Emissions from Light-Duty Diesel and Gasoline In-Use Vehicles Measured on Chassis Dynamometer Test Cycles / Céilia A. Alves1 [et al.] // *Aerosol and Air Quality Research*. 2015. Vol. 15. P. 99–116. DOI: 10.4209/aaqr.2014.01.0006//.
3. Lozhkina O.V., Malyshev S.A., Hahlenov A.V. Issledovanie opasnogo zagryazneniya pridorozhnogo vozduha melkodispersnymi vzveshennymi chasticami RM10 i RM2,5 na primere Sankt-Peterburga // *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*. 2021. № 2 (59). S. 96–103.
4. Bezuglaya E.Yu., Zagajnova M.S., Ivleva T.P. Nekotorye rezul'taty ocenki izmeneniya atmosfornoj himicheskoy aktivnosti // *Trudy Glavnoj geofizicheskoy observatorii im. A.I. Voejkova*. 2017. № 584. S. 201–220.
5. 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.
6. Pollutant cross-transmission in courtyard buildings: Wind tunnel experiments and computational fluid dynamics (CFD) evaluation / H. Sun [et al.] // *Building and environment*. 2024. Vol. 264. № 111919. DOI: 10.1016/j.buildenv.2024.111919.
7. Sordyl A., Chlopek Z., Merksiz J. Correlation studies of processes: vehicle velocity, pollutant emissions, and vehicle fuel consumption in the world-wide light-duty test cycle // *Transport problems*. 2024. Vol. 19. Iss. 2. P. 229–241. DOI: 10.20858/tp.2023.19.2.18165.
8. Tarancev A.A. Regressionnyj analiz i planirovanie ispytaniy v zadachah prinyatiya reshenij: monografiya. SPb.: IPT RAN, 2017. 174 s.
9. Real world CO₂ and NO_x emissions from 149 Euro 5 and 6 diesel, gasoline and hybrid passenger cars / Rosalind O'Driscoll [et al.] // *Science of The Total Environment*. 2018. Vol. 621. № 15. 2018. P. 282–290. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.11.271.
10. Donchenko V.V. Metodicheskie osnovy organizacii ekologicheskikh zon s nizkimi vybrosami avtomobil'nogo transporta: monografiya / V.V. Donchenko [i dr.]. SPb.: Izd-vo «Kosta», 2023. 264 s.
11. Gajvoronskij A.I., Gordin V.M., Markov V.A. Problemy i perspektivy ispol'zovaniya bezuglerodnyh i nizkouglерodnyh motornyh topliv v usloviyah razlichnyh scenarijev perekhoda k uglерodno-nejtral'noj energetike // *Dvigatелестроение*. 2022. № 2. S. 4–28. DOI: 10.18698/jec.2022.2.4-28.
12. Sistemy situacionnyh centrov v Respublike Tatarstan: metod. rekomendacii / R.N. Minnihanov [i dr.]. Kazan': Foliant, 2022. Ch. 1. 212 s.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 02.09.2024; одобрена после рецензирования: 16.09.2024; принята к публикации: 20.09.2024

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 02.09.2024; approved after review: 16.09.2024; accepted for publication: 20.09.2024

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