

Научная статья
УДК 62-144.3
doi: 10.46684/2687-1033.2022.4.435-440

Повышение экологической безопасности автомобильного транспорта

А.А. Воробьев^{1✉}, С.А. Метлякова^{1,2}

¹ Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС); г. Санкт-Петербург, Россия;

² Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ); г. Санкт-Петербург, Россия

¹ 79219751198@yandex.ru✉

² sofeeasya@yandex.ru

АННОТАЦИЯ

Рассмотрено влияние перевода автомобильного транспорта на природный газ (ПГ) на экологическую безопасность, изменение содержания выбросов токсичных и канцерогенных веществ с отработавшими газами. Большинство традиционных топлив не обеспечивают низкий уровень выбросов, притом, что требования постоянно ужесточаются. Высокое содержание вредных веществ в продуктах сгорания автомобильных двигателей оказывает негативное влияние на окружающую среду и здоровье населения. Это заставляет обратить внимание на альтернативные топлива, в частности на ПГ, его применимость на автомобильном транспорте и условия достижения требуемого уровня экологической безопасности с его использованием.

Проведенное сравнение показывает, что по физико-химическим характеристикам ПГ имеет преимущества перед традиционными топливами. Это обосновывает его применимость на автомобильном транспорте. Анализ работ в области исследования количества и концентрации вредных веществ в продуктах сгорания для двигателей, полностью переоборудованных на газ, а также газодизелей, демонстрирует, что ПГ является наиболее экологичным топливом. Однако для достижения требуемого уровня экологичности следует учитывать вид транспорта, условия, режим работы и т.д.

Из анализа сделан вывод о способности ПГ обеспечить необходимый уровень экологической безопасности.

Ключевые слова: альтернативное топливо; экологическая безопасность; автомобильный транспорт; двигатели внутреннего сгорания; газовый двигатель; газодизельный двигатель; экологические показатели

Для цитирования: Воробьев А.А., Метлякова С.А. Повышение экологической безопасности автомобильного транспорта // Техник транспорта: образование и практика. 2022. Т. 3. Вып. 4. С. 435–440. <https://doi.org/10.46684/2687-1033.2022.4.435-440>.

Original article

Improving the environmental safety of road transport

Alexander A. Vorobyov^{1✉}, Sofya A. Metlyakova^{1,2}

¹ Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (PGUPS); Saint Petersburg, Russian Federation;

² Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPbGASU); Saint Petersburg, Russian Federation

¹ 79219751198@yandex.ru✉

² sofeeasya@yandex.ru

ABSTRACT

In this article is investigated the influence of the re-equipment of road transport on natural gas on environmental safety, on the change in the content of emissions of toxic and carcinogenic substances with exhaust gases. Most traditional fuels do not provide low emissions, even though the requirements are constantly tightening. The high content of harmful substances in the combustion products of automobile engines has a negative impact on the environment and health of humankind. This makes us pay attention to alternative fuels, especially natural gas, and its applicability in road transport and the conditions for achieving the required level of environmental safety.

© А.А. Воробьев, С.А. Метлякова, 2022

The comparison shows that, in terms of physicochemical characteristics, natural gas has advantages over traditional fuels. This justifies its applicability in road transport. An analysis of works in the field of studying the amount and concentration of harmful substances in combustion products for engines completely converted to gas and gas diesel engines, shows that natural gas is the most environmentally friendly fuel. However, in order to achieve the required level of environmental friendliness, it is necessary to consider the type of transport, conditions, mode of operation, etc.

From the analysis, a conclusion was made about the ability of natural gas to provide the necessary level of environmental safety.

Keywords: alternative fuel; environmental safety; automobile transport; internal combustion engines; gas engine; gas-diesel engine; environmental performance

For citation: Vorobyov A.A., Metlyakova S.A. Improving the environmental safety of road transport. *Transport technician: education and practice*. 2022;3(4):435-440. (In Russ.). <https://doi.org/10.46684/2687-1033.2022.4.435-440>.

ВВЕДЕНИЕ

Сегодняшнее состояние окружающей среды и оценка влияния на нее техногенных факторов заставляют задуматься о поиске новых более экологических источников энергии. Особенно это актуально для сферы транспорта, где постоянно ужесточающиеся нормы выбросов токсичных веществ вынуждают производителей топлив, автомобилей и владельцев личного транспорта искать новые пути приведения содержания токсичных веществ к установленным стандартам.

Перевод автомобилей на альтернативные источники энергии, в частности на природный газ (ПГ), решает проблему токсичности отработавших газов. Однако существуют условия для реализации всех преимуществ ПГ как топлива.

В данной статье сравнивается эмиссия вредных веществ (ВВ) при использовании традиционных топлив и ПГ, а также обосновывается целесообразность применения ПГ как более экологичного топлива.

СНИЖЕНИЕ ЭМИССИИ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ ПЕРЕХОДЕ НА ПРИРОДНЫЙ ГАЗ

В настоящее время в связи с ростом количества личных автомобилей и общественного транспорта особенно в крупных городах повышается влияние их воздействия, в том числе негативного на жизнь и здоровье населения. Загрязняющее воздействие транспорта на среду и население выражается не только в выработке ВВ и выпуске их с отработавшими газами в атмосферу, но и в воздействии на почву и воду, что снижает плодородность почв, качество питьевой воды для людей и уменьшает пригодное для жизни пространство для морских и

речных животных и растений; а также в прочих видах воздействий, в частности шумовом и тепловом [1]. В настоящей работе речь пойдет о влиянии смены топлива на количество ВВ в отработавших газах, изменение прочих факторов рассматриваться не будет.

Следует определить, доля каких ВВ в отработавших газах будет подвергаться оценке. Будем различать продукты сгорания при полном и неполном сгорании топлива. Известно, что при полном сгорании продукты сгорания состоят из углекислого газа, водяного пара, кислорода, не участвовавшего в сгорании, и азота. При неполном сгорании в продуктах сгорания отсутствует кислород [2]. Также на состав продуктов влияет изначальный состав топлива. Среди ВВ выделяют токсичные и канцерогенные. К первым относятся оксид углерода CO, оксиды азота NO_x и сажа. Ко вторым — бензопирен, также среди составляющих продуктов сгорания и влияющих непосредственно на окружающую среду. Например, метан — основная составляющая ПГ, который является парниковым газом.

Существует большое количество способов уменьшения как количества ВВ в отработавших газах, так и их токсичности. К ним относятся:

- применение топлива иного состава;
- улучшение качества топливовоздушной смеси, осуществляемое с помощью изменения:
 - способа подачи топлива;
 - формы камеры сгорания;
 - времени подачи топлива для обеспечения более полного сгорания и др.

Переход с жидкостных традиционных топлив, таких как бензин и дизельное топливо, на ПГ принято считать переводом транспортного средства на качественно более высокую ступень экологичности. Причины выбора ПГ среди альтернативных топлив — его физико-химические характеристики,

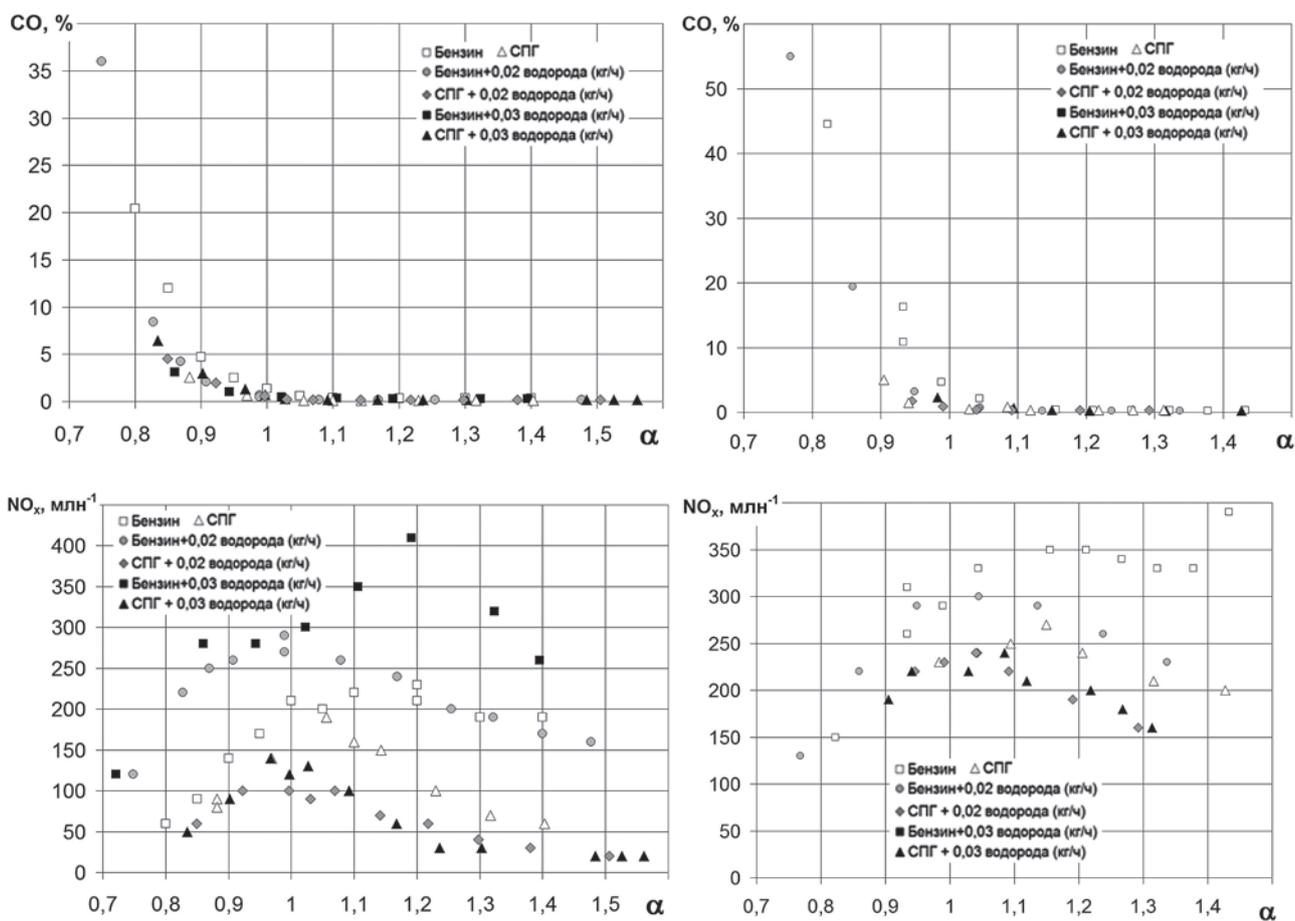


Рис. 1. Концентрация CO и NO_x в отработавших газах на режиме холостого хода в двигателе ВАЗ-2111 при работе на бензине, бензине с водородом, сжиженном природном газе (СПГ) и СПГ с водородом: а – степень сжатия 9,8; б – степень сжатия 7,5 [5]

выгодно отличающие его от традиционных топлив (таблица), наличие больших запасов на территории РФ, постепенное развитие инфраструктуры для автомобилей на газовом топливе, а также по-

ощрение перевода автомобилей на данный вид топлива [3]. По таблице видно, что существенными преимуществами ПГ являются его широкий предел воспламеняемости в воздухе и способность работать при бедных смесях. Учет высокого октанового числа ПГ (120–130), способность работать при высоких степенях сжатия, и следовательно, с большим КПД позволяет эффективно использовать его в дизельном процессе.

Таблица
Сравнение физико-химических характеристик метана, бензина и дизельного топлива [4]

Свойство	Природный газ	Дизельное топливо	Бензин
Отношение количества воздуха к топливу в стехиометрической смеси, кг/кг	17,2	14,6	14,7
Теплота сгорания стехиометрической смеси, ккал/м ³	770	830	845
Предел воспламеняемости в воздухе (% объема в смеси с воздухом)	4,3–15,2	1–6	1,4–7,6
Температура самовоспламенения, °С	650	320–380	500–550

Об экологичности ПГ можно судить по сравнению содержания ВВ в отработавших газах при сгорании дизеля, бензина и ПГ. Для сравнения проанализированы данные различных исследований. К примеру, в работе [5] приводились диаграммы (рис. 1) зависимостей концентрации различных компонентов отработавших газов при разных степенях сжатия для бензинового двигателя ВАЗ-2111 от безразмерного коэффициента избытка воздуха alpha. Авторами было выяснено, что ПГ может обеспечить снижение токсичности отработавших газов как для NO_x, так и для СН и СО, при сохранении мощностных показателей работы двигателя, при оптимальных углах опережения зажигания.

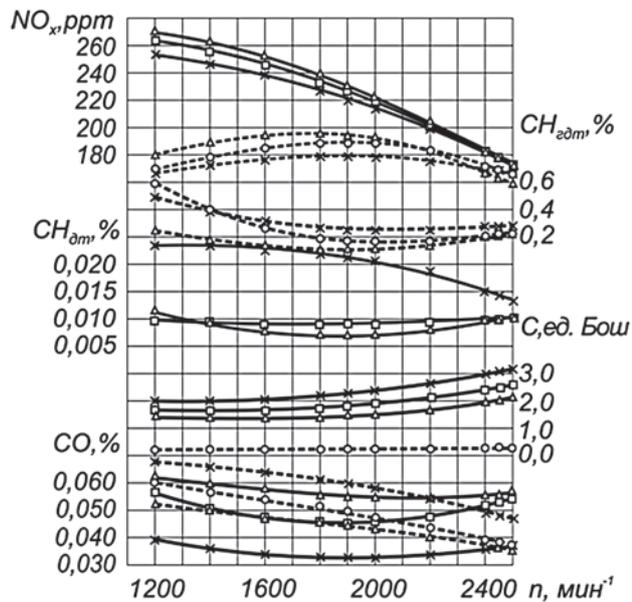


Рис. 2. Влияние применения ПГ на экологические показатели дизеля с турбонаддувом 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения: сплошная линия — дизельное топливо; пунктирная линия — газодизель [12]

В труде [6] авторы строили диаграммы содержания ВВ для двигателей, работающих на дизельном топливе и ПГ, без привязки на определенный двигатель. По диаграммам видно, что содержание CO в ПГ в 4 раза меньше, чем в дизельном топливе, NO_x — в 3, углеводородов — в 6,3, а сажа отсутствует.

В работах [7–9] также приведено сравнение содержания компонентов отработавших газов для различных топлив. В нем ПГ по экологическим характеристикам обходит все прочие виды топлив.

Более обширное сравнение по содержанию диоксида углерода, водных паров и азота проведено в исследовании [10]. Природный газ сравнивается

не только с традиционными топливами, но и с метанолом, пропаном, бутаном, этанолом и т.д. При этом сделан вывод о более низких выбросах CO₂ от использования метана, чем от дизельного топлива, бензина и пропан-бутана, однако у метанола значения содержания CO₂ еще ниже.

Масштабный обзор более ранних источников, содержащий сравнение большого количества данных для разных типов наземного транспорта по содержанию оксида и диоксида углерода и оксидов азота, осуществлен в публикации [11].

Также имеются данные о сравнении показателей концентраций ВВ в отработавших газах для газодизельных автомобилей [12–15]. В исследованиях [14, 15] выполнено сравнение уменьшения доли токсичных компонентов при различной степени замещения дизельного топлива ПГ. Сделан вывод о зависимости содержания компонентов продуктов сгорания от степени замещения дизельного топлива ПГ, а также от режима работы двигателя [13]. В работе [12] (рис. 2) сравниваются экологические показатели дизеля и газодизеля, и сравнение не всегда оказывается в пользу ПГ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По физико-химическим характеристикам ПГ является наиболее перспективным альтернативным топливом с наибольшим экологическим потенциалом среди углеводородов.

Общее сравнение данных источников показывает, что в большинстве случаев ПГ оказывается более экологичным топливом, способным обеспечить необходимый уровень экологической безопасности по современным стандартам. При этом следует учитывать вид транспорта, режим и условия работы, а также степень замещения дизельного топлива газом для газодизеля.

ЛИТЕРАТУРА

- Кузнецов Е.С., Болдин А.П., Власов В.М. и др. Техническая эксплуатация автомобилей: учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и дополн. М.: Наука, 2001. 535 с
- Ховах М.С., Маслов Г.С. Автомобильные двигатели: Теория, расчет и конструкция двигателей внутреннего сгорания: учебник. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1971. 456 с.
- Чернышева Е.А., Хисамутдинов А.М., Мухаметярова А.Р. Компримированный природный газ в качестве моторного то-

- плива // АвтоГазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо. 2016. № 7 (112). С. 12–17.
- Генкин К.И. Газовые двигатели. М.: Машиностроение, 1977. 193 с.
- Смоленская Н.М., Смоленский В.В. Токсичность отработавших газов в бензиновых двигателях при работе на сжатом природном газе и бензине // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. 2018. Т. 18. № 4. С. 57–65. DOI: 10.14529/engin180406

6. Стариков П.В., Щетинин Н.А. Экологическая эффективность перехода на карьерном транспорте с дизельного топлива на природный газ // Современные автомобильные материалы и технологии: сборник статей XI Международной научно-технической конференции. 2019. С. 341–343.

7. Баранник А.Ю., Овчинников В.В., Курбатов М.Ю., Мингалеев С.Г. Использование природного газа в качестве топлива для автомобилей — одно из приоритетных направлений по обеспечению экологической безопасности страны // Технологии гражданской безопасности. 2020. Т. 17. № 3 (65). С. 21–28.

8. Тамадаев В.Г., Негинский Л.М., Харченко Е.В. Использование природного газа — решение экологических проблем отечественного автотранспорта // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2011. № 5.

9. Аколова Г.С., Власенко Н.Л., Тетеревлев Р.В. Перспективы замены дизельного топлива природным газом на транспорте // Вести газовой науки. 2013. № 2 (13). С. 56–62.

10. Попадько Н.В., Вовкодав К.В. Выбор альтернативного топлива для автотранспорта в условиях мирового энергоперехода // Инновации и инвестиции. 2022. № 6. С. 176–183.

11. Khan M.I., Yasmeen T., Khan M.I., Farooq M., Wakeel M. Research progress in the development of natural gas as fuel for road vehicles: A bibliographic review (1991–2016) // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016. Vol. 66. Pp. 702–741. DOI: 10.1016/j.rser.2016.08.041

12. Рудаков Л.В. Экологические перспективы переоборудования дизельных двигателей для работы на природном газе // Вестник института: преступление, наказание, исправление. 2010. № 12. С. 67–72.

13. Вершина Г.А., Быстренков О.С. Способы организации рабочего процесса газодизельного двигателя // Наука и техника. 2017. Т. 16. № 5. С. 383–390. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-5-383-390

14. Likhanov V.A., Lopatin O.P. Improving the environmental performance of a diesel engine using natural gas and exhaust gas recirculation // *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. Vol. 1399. Issue 5. P. 055020. DOI: 10.1088/1742-6596/1399/5/055020

15. Лиханов В.А., Лопатин О.П. Улучшение экологических показателей дизеля при работе на природном газе с рециркуляцией // Инженерный журнал: наука и инновации. 2016. № 4 (52). С. 9. DOI: 10.18698/2308-6033-2016-4-1479

REFERENCES

1. Kuznetsov E.S., Boldin A.P., Vlasov V.M. et al. *Technical operation of cars: textbook for universities. 4th ed., revised. and additional*. Moscow, Nauka, 2001;535. (In Russ.).

2. Khovah M.S., Maslov G.S. *Automobile engines: theory, calculation and design of internal engines. combustion: textbook. 2nd ed., revised. and additional*. Moscow, Mashinostroenie, 1971;456. (In Russ.).

3. Chernysheva E.A., Khisamutdinov A.M., Mukhametyarova A.R. Compressed natural gas as a motor fuel. *Autogas filling complex + Alternative fuel*. 2016;7(112):12-17. (In Russ.).

4. Genkin K.I. *Gas engines*. Moscow, Mashinostroenie, 1977;193. (In Russ.).

5. Smolenskaya N.M., Smolensky V.V. Toxicity of exhaust gases in gasoline engines when operating on compressed natural gas and gasoline. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Engineering*. 2018;18(4):57-65. DOI: 10.14529/engin180406 (In Russ.).

6. Starikov P.V., Shchetinin N.A. Ecological efficiency of the transition from diesel fuel to natural gas in quarry transport. *Modern automotive materials and technologies: collection of articles of the XI International Scientific-technical conference*. 2019;341-343. (In Russ.).

7. Barannik A., Ovchinnikov V., Kurbatov M., Mingaleev S. The use of Natural Gas as Fuel for Cars is One of the Priorities for Ensuring the Country's Environmental Safety. *Civil Security Technology*. 2020;17(3):(65):21-28. (In Russ.).

8. Tamadaev V.G., Neginsky L.M., Kharchenko E.V. The use of natural gas is a solution to the environmental problems of domes-

tic vehicles. *News of Higher Educational Institutions. North Caucasian Region. Technical Science*. 2011;5. (In Russ.).

9. Akopova G.S., Vlasenko N.L., Teterlev R.V. Prospects for replacing diesel fuel with natural gas in transport. *Vesti Gazovoy Nauki*. 2013;2(13):56-62. (In Russ.).

10. Popadko N.V., Vovkodav K.V. Selecting of alternative fuel for motor transport in the conditions of global energy transition. *Innovations and Investments*. 2022;6:176-183. (In Russ.).

11. Khan M.I., Yasmeen T., Khan M.I., Farooq M., Wakeel M. Research progress in the development of natural gas as fuel for road vehicles: A bibliographic review (1991–2016). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016;66:702-741. DOI: 10.1016/j.rser.2016.08.041

12. Rudakov L.V. Ecological prospects for the conversion of diesel engines to run on natural gas. *Bulletin of the Institute: Crime, Punishment, Correction*. 2010;12:67-72. (In Russ.).

13. Vershina G.A., Bystrenkov O.S. Methods for organization of working process for gas-diesel engine. *Science and Technique*. 2017;16(5):383-390. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-5-383-390 (In Russ.).

14. Likhanov V.A., Lopatin O.P. Improving the environmental performance of a diesel engine using natural gas and exhaust gas recirculation. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019;1399(5):055020. DOI: 10.1088/1742-6596/1399/5/055020

15. Likhanov V.A., Lopatin O.P. Improving the environmental performance indicators of a diesel engine operating on natural gas with recirculation. *Engineering Journal: Science and Innovation*. 2016;4(52):9. DOI: 10.18698/2308-6033-2016-4-1479 (In Russ.).

Об авторах

Александр Алфеевич Воробьев — доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Наземные транспортно-технологические комплексы»; **Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС)**; 190031, г. Санкт-Петербург, Московский пр., д. 9; SPIN-код: 2244-1699, РИНЦ ID: 290846; 79219751198@yandex.ru;

Софья Александровна Метлякова — аспирант; ведущий инженер кафедры «Наземные транспортно-технологические комплексы»; **Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС)**; 190031, г. Санкт-Петербург, Московский пр., д. 9; **Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ)**; 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4; SPIN-код: 5465-7254, РИНЦ ID: 1161635; sofeeasya@yandex.ru.

Bionotes

Alexander A. Vorobyov — Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor, Head of the Department of “Ground Transportation and Technological Complexes”; **Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (PGUPS)**; 9 Moskovsky pr., St. Petersburg, 190031, Russian Federation; SPIN-code: 2244-1699, ID RSCI: 290846; 79219751198@yandex.ru;

Sofya A. Metlyakova — Lead Engineer of the Department of “Ground Transportation and Technological Complexes”; **Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (PGUPS)**; 9 Moskovsky pr., St. Petersburg, 190031, Russian Federation; **Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPbGASU)**; 4 2nd Krasnoarmeiskaya st., Saint Petersburg, 190005, Russian Federation; SPIN-code: 5465-7254, ID RSCI: 1161635; sofeeasya@yandex.ru.

Заявленный вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

Автор, ответственный за переписку: Александр Алфеевич Воробьев, 79219751198@yandex.ru.

Corresponding author: Alexander A. Vorobyov, 79219751198@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 12.08.2022; одобрена после рецензирования 13.09.2022; принята к публикации 30.10.2022.

The article was submitted 12.08.2022; approved after reviewing 13.09.2022; accepted for publication 30.10.2022.

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ ЧИТАТЕЛЕЙ ЖУРНАЛА



Федеральное государственное бюджетное учреждение дополнительного профессионального образования «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте» представляет новые издания 2022 года



Покровская О.Д., Рыбин П.К.

Терминалистика: логистика транспортных узлов и терминалов: учебник

В учебнике впервые изложены ключевые сведения о терминалистике, системе классификации, идентификации и оценки работы терминально-складской инфраструктуры железных дорог. Показана роль терминалистики в системе учебных и научных дисциплин. Изложены технические

и функциональные характеристики транспортно-складских систем. Кроме того, охарактеризованы теоретические и концептуальные основы логистики транспортных узлов и терминалов — терминалистики — как нового научного направления. Отражены методические средства для учебной дисциплины «Логистика транспортных узлов и терминалов». Учебник предназначен для студентов вузов железнодорожного транспорта.

Вы можете оформить заказ в ФГБУ ДПО «УМЦ ЖДТ»:
105082, г. Москва, ул. Бакунинская, д. 71;
e-mail: marketing@umczdt.ru
тел./факс: (495) 739-00-30/ 739-00-31