

Научная статья
УДК 656.13+504.054
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-3-350-361>
EDN: DDEUBI



АКТУАЛИЗИРОВАННЫЙ ПРОГНОЗ ЧИСЛЕННОСТИ, СТРУКТУРЫ АВТОМОБИЛЬНОГО ПАРКА РОССИИ ПО ТИПУ ЭНЕРГОУСТАНОВОК И ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ДО 2050 ГОДА

Ю. В. Трофименко, В. И. Комков*

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),
г. Москва, Россия

ywtrofimenko@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-3650-5022>

v.komkov@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-8712-4553>

*ответственный автор

АННОТАЦИЯ

Введение. Приведены результаты прогнозной оценки численности, структуры автомобильного парка России по типу энергоустановок и выбросов парниковых газов (ПГ) до 2050 г. с учетом актуализации исходных данных, используемых при проведении расчетов и принятии допущения, что будет принято решение прекратить производство легковых АТС с ДВС, начиная с 2045 г.

Материалы и методы. Прогноз уровня автомобилизации, численности автопарка по типу энергоустановок и виду топлива, экологическому классу оценивались с учетом обновления парка, баланса поставок и выбытия АТС. Эти данные приводятся в формах государственной статистической отчетности, долгосрочных стратегиях развития транспортной отрасли, отчасти генерируются исследователями самостоятельно. Для расчета выбросов парниковых газов также использовалась методика Sorpt 5.

Результаты. По сравнению с ранее составленными прогнозами значение суммарных выбросов ПГ автомобильным парком в 2050 г. по актуальному прогнозу будет примерно таким же, как в 2045 г., то есть будет отставать на 5 лет.

Обсуждение и заключение. В ближайшей перспективе темпы декарбонизации автомобильного транспорта в России могут существенно замедлиться. В автомобильном парке к 2050 г. будут по-прежнему преобладать автомобили с ДВС на углеводородном топливе (жидком, газообразном).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: автомобильный парк, численность, структура парка, вид топлива, тип энергоустановок, декарбонизация, выбросы парниковых газов, актуализированный прогноз

Статья поступила в редакцию 18.04.2023; одобрена после рецензирования 25.05.2023; принята к публикации 26.06.2023.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Трофименко Ю. В., Комков В. И. Актуализированный прогноз численности, структуры автомобильного парка России по типу энергоустановок и выбросов парниковых газов до 2050 года // Вестник СибАДИ. 2023. Т.20, № 3 (91). С. 350-361. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-3-350-361>

© Трофименко Ю. В., Комков В. И., 2023



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Origin article
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-3-350-361>
EDN: DDEUBI

UPDATED NUMBER FORECAST, RUSSIAN CAR FLEET STRUCTURES BY TYPE OF POWER PLANTS AND GREENHOUSE GAS EMISSIONS UNTIL 2050

IUrii V. Trofimenko, Vladimir I. Komkov

Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI),
Moscow, Russia

ywtrofimenko@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-3650-5022>

v.komkov@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-8712-4553>

*corresponding author

ABSTRACT

Introduction. The results of forecast estimation of the number, structure of the Russian motor vehicle fleet by type of power units and greenhouse gas (GHG) emissions up to 2050 are presented, taking into account the update of the initial data used in the calculations and the assumption that it will be decided to stop production of passenger cars with internal combustion engines starting from 2045.

Materials and methods. The forecast of the level of motorization, the number of vehicle fleet by type of power plant and fuel type, environmental class were estimated taking into account the renewal of the fleet, the balance of supply and disposal of ATVs. These data are given in the forms of state statistical reporting, long-term strategies of transport industry development, partly generated by researchers themselves. The Copert 5 methodology was also used to calculate greenhouse gas emissions.

Results. Compared to earlier projections, the value of total GHG emissions of the vehicle fleet in 2050 according to the current projection will be about the same as in 2045, i.e. will be 5 years behind.

Discussion and conclusions. In the near term, the rate of decarbonization of road transport in Russia may slow down significantly. Vehicles with internal combustion engines using hydrocarbon fuels (liquid, gaseous) will still dominate the vehicle fleet by 2050.

KEYWORDS: vehicle fleet, population, fleet structure, fuel type, type of power plants, decarbonization, greenhouse gas emissions, updated forecast

The article was submitted 18.04.2023; approved after reviewing 25.05.2023; accepted for publication 26.06.2023.

The authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation. Trofimenko J. V., Komkov V. I. Updated number forecast, Russian car fleet structures by type of power plants and greenhouse gas emissions until 2050. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2023; 20 (3): 350-361. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-3-350-361>

© Trofimenko I. V., Komkov V. I., 2023



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время произошла корректировка трендов «зеленой энергетики»: наблюдается усиление роли невозобновляемых ресурсов в мире, расконсервация угольных ТЭС в отдельных странах и др. Несмотря на это, тренд на сокращение выбросов парниковых газов (ПГ) и снижение углеродного следа в жизненном цикле транспортных средств и технологий в среднесрочной и долгосрочной перспективе остается одним из ключевых факторов устойчивого экономического развития, сохранения здоровья и повышения качества жизни населения в разных странах, в том числе и в России.

Наличие новых глобальных угроз и рисков, связанных с нарушением сложившихся цепей поставок, потребовало корректировки Стратегии развития автомобильной промышленности Российской Федерации¹, уточнения показателей и трендов развития транспортного комплекса^{2,3}.

Как указано в Стратегии развития автопрома, основными проблемами развития отрасли являются недостаточные темпы обновления парка АТС (моральное и физическое старение) и необходимость развития инфраструктуры для массового использования электротранспорта, автономных и подключенных автомобилей, газомоторной техники. Исследования в данном направлении приобретают особую актуальность из-за развития конструкций автотранспортных средств^{4,5} и моделирования экологических характеристик транспортных потоков [1, 2, 3, 4, 5].

В ближайшее время ожидается постановка на производство линейки автономных автомобилей, электрических и гибридных автомоби-

лей (включая АТС на водородных топливных элементах (ТЭ)) с высокой локализацией и значительным трендом роста продаж (до 70% в год), создание новых производств компонентов и материалов для такого транспорта (тяговые батареи, топливные ячейки, катодные и анодные материалы и др.). Разработана «дорожная карта» по развитию рынка сжиженного и компримированного природного газа на автомобильном транспорте.

Указанные обстоятельства послужили основой для корректировки ранее выполненных прогнозов численности⁶, структуры автомобильного парка по типу энергоустановок [6], валовых выбросов парниковых газов автомобильным транспортом на период до 2050 г. [7, 8, 9, 10].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Прогноз численности автомобильного парка может быть определен разными способами, в том числе на основании составления прогнозов уровня автомобилизации в стране или отдельном регионе и динамики поставок автомобилей, использующих разные виды топлива (энергии), в автомобильный парк и выбытия их из парка.

Как и в предыдущих вариантах прогнозов численности парка АТС Российской Федерации в разработанном варианте прогноза динамика уровня автомобилизации на рисунке 1 и численности парка АТС предполагает достижение максимума в середине 2030-х годов как уровня автомобилизации (до 420 легковых АТС на 1000 жителей), так и общей численности парка АТС (68 млн ед.) (рисунок 2) и затем уменьшение значений этих показателей к 2050 г. до 260 легковых АТС/1000 жителей и до 50 млн ед. соответственно.

¹ Стратегия развития автомобильной промышленности Российской Федерации на период до 2035 года [Электрон. ресурс]: Утв. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 декабря 2022 года N 4261-п. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/405963861/>

² Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года [Электрон. ресурс]: Утв. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-п. URL: <https://mintrans.gov.ru/file/473193>

³ Доклад о реализации транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года [Электрон. ресурс]: Отчетный период: 2021 год. URL: <https://mintrans.gov.ru/file/479860>

⁴ Шелмаков С.В. Экотранспорт: учеб. пособие / С.В. Шелмаков. М.: МАДИ, 2018. 160 с.

⁵ Шелмаков С.В. Улучшение энерго-экологических характеристик автомобилей: учеб. пособие / С.В. Шелмаков. М.: МАДИ, 2018. 232 с.

⁶ Трофименко Ю.В., Комков В.И., Григорьева Т.Ю. Прогноз численности и структуры автомобильного парка Российской Федерации по экологическому классу, типу энергоустановок и виду топлива на период до 2030 года // Сборник трудов шестого международного экологического конгресса (восьмой международной научно-технической конференции) «Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов» ELPIT 2017, 20–24 сентября 2017 г., г. Самара – Тольятти, Россия. Издательство ELPIT. 2017. Т. 5. С. 196–212.

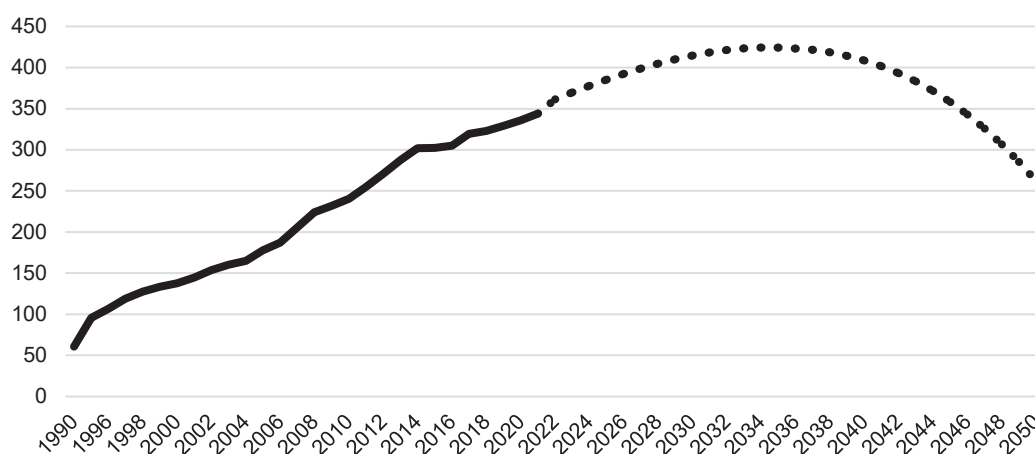


Рисунок 1 – Прогноз уровня автомобилизации в РФ, тыс. легковых АТС/1000 жителей
Источник: составлено авторами.

Figure 1 – Forecast of the level of motorization in the Russian Federation, thousand cars/1000 inhabitants
Source: composed by the authors.

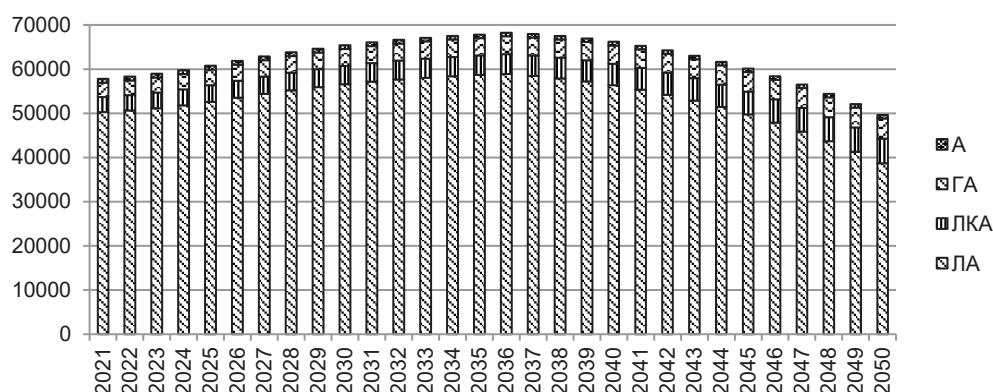


Рисунок 2 – Прогноз численности парка АТС в России до 2050 года, тыс. ед.:
ЛА – легковые; ЛКА – легкие коммерческие; ГА – грузовые, А – автобусы
Источник: составлено авторами.

Figure 2 – Forecast of the number of transport fleet in Russia until 2050, thousand units:
PC - passenger cars; LCV - light commercial vehicles; HDT - trucks, B - buses
Source: composed by the authors.

Это вызвано изменением начальных условий – замедлением роста численности парка в 2019–2022 гг. При этом в среднесрочной перспективе сохраняются и усилятся тренды, приводящие к обновлению парка АТС, отказу населения от приобретения автомобилей, замещению их средствами индивидуальной мобильности [6, 7].

При прогнозировании валовых выбросов ПГ автомобильным транспортом (уровень 1, 2 по классификации МГЭИК), кроме изменения прогнозной численности парка АТС, был актуализирован прогноз структуры автомобильного парка по типу используемых типов

энергоустановок с использованием данных по планируемому объему продаж, приведенных в актуализированной стратегии развития автомобильной промышленности до 2035 г.

При прогнозировании структуры парка АТС с разными типами энергоустановок (ЭУ) после 2035 г. было принято допущение о линейных трендах структуры продаж (поставок в парк) легковых, легких коммерческих, грузовых АТС и автобусов на бензине и дизтопливе, с тяговым электроприводом и на природном газе, которые формируются на базе динамики поставок данных типов АТС в 2020–2035 гг. (рисунок 3).

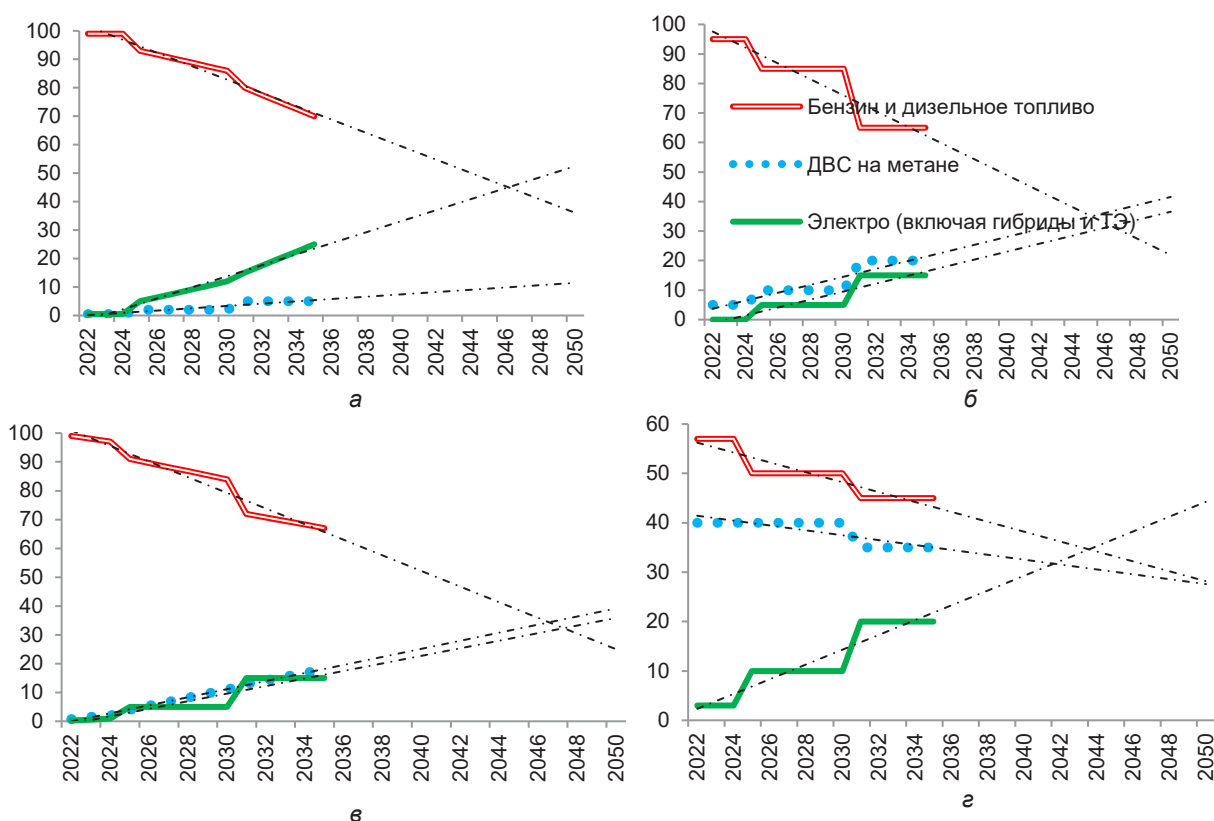


Рисунок 3 – Доля поставок (объем продаж согласно стратегии до 2035 г.) АТС разных типов с различными энергоустановками: а – ЛА; б – ЛКА; в – ГА; г – А, %
Источник: составлено авторами.

Figure 3 – Share of deliveries (sales volume according to the strategy until 2035) of vehicles with different power units (a – PC, b – LCV, c – HDT, d – B), %
Source: composed by the authors.

Из рисунка 3 следует, что автомобили с ДВС на период до 2035 г. будут занимать доминирующую долю рынка продаж легковых, легких коммерческих, грузовых автомобилей и автобусов. При этом ожидается постепенное замещение в парке АТС с ДВС на жидком топливе электрическими и гибридными автомобилями. Наиболее существенным такое замещение ожидается в сегменте легковых АТС.

Для этих автомобилей разработан подвариант А прогноза структуры и численности по типу ЭУ, предусматривающий отказ от производства к 2045 г. АТС с ДВС на жидком топливе в пользу электрического транспорта. На рисунке 4 приведена прогнозная оценка доли продаж легковых АТС с различными типами энергоустановок по подварианту А.

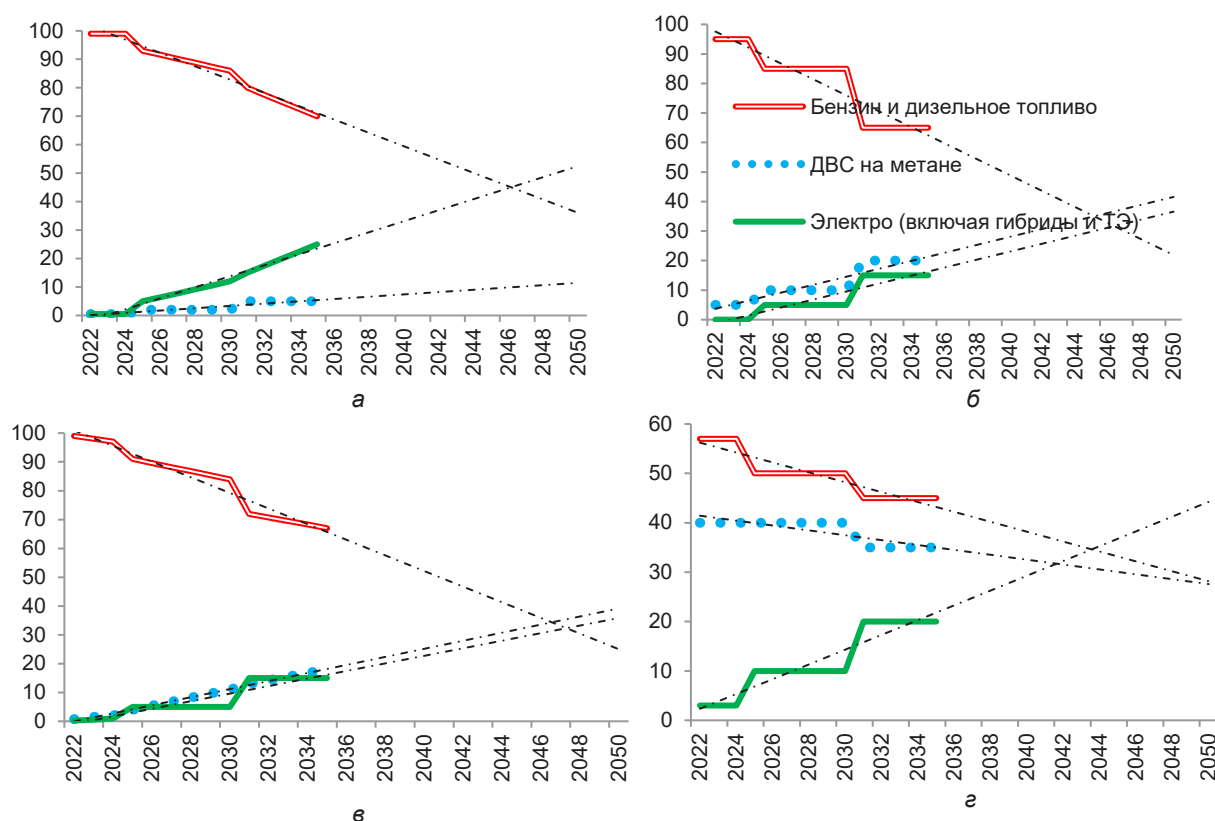


Рисунок 4 – Доля продаж легковых АТС (подвариант А), %
Источник: составлено авторами.

Figure 4 – Share of sales of passenger cars (variant A), %
Source: composed by the authors.

Как следует из рисунка 4, при реализации подварианта А можно ожидать, что после 2044-2045 г. доля продаж легковых, легких коммерческих электромобилей и гибридов превысит долю продаж этих типов АТС с ДВС.

Переход от прогноза продаж АТС с разными типами ЭУ к прогнозу структуры и численности парка АТС по виду топлива и типу энергоустановок в данной работе выполнен на основании прогнозной оценки динамического баланса спроса на автомобили (численности поставляемых новых и поддержанных автомобилей) и выбытия АТС из парка по разным причинам в каждый конкретный год [11].

Объем спроса на автомобили (доля поставок в парк) определяется прогнозом объема продаж и использования в качестве транспортного средства, а также эстетическими соображениями, престижем, наличием места для парковки и хранения, надежностью, техно-

логичностью, экологическими характеристиками АТС и т.д.

Доля выбытия автомобилей из парка зависит от остаточной цены АТС, цены топлива, топливной экономичности новых автомобилей, стимулов обновления автопарка на национальном и региональном уровнях, развития системы авторециклинга, других факторов [8, 12].

Ожидается, что доля выбытия АТС из парка будет расти, достигнув в 2050 г. значений в 5% численности парка грузовых АТС и автобусов и 10% численности парка легковых автомобилей. Такой прогноз динамики выбытия предусматривает реализацию мер по стимулированию обновления автомобильного парка. С учетом изложенного на рисунке 5 приведены результаты обновленного прогноза структуры автомобильного парка РФ по типу ЭУ и виду топлива на период до 2050 г.

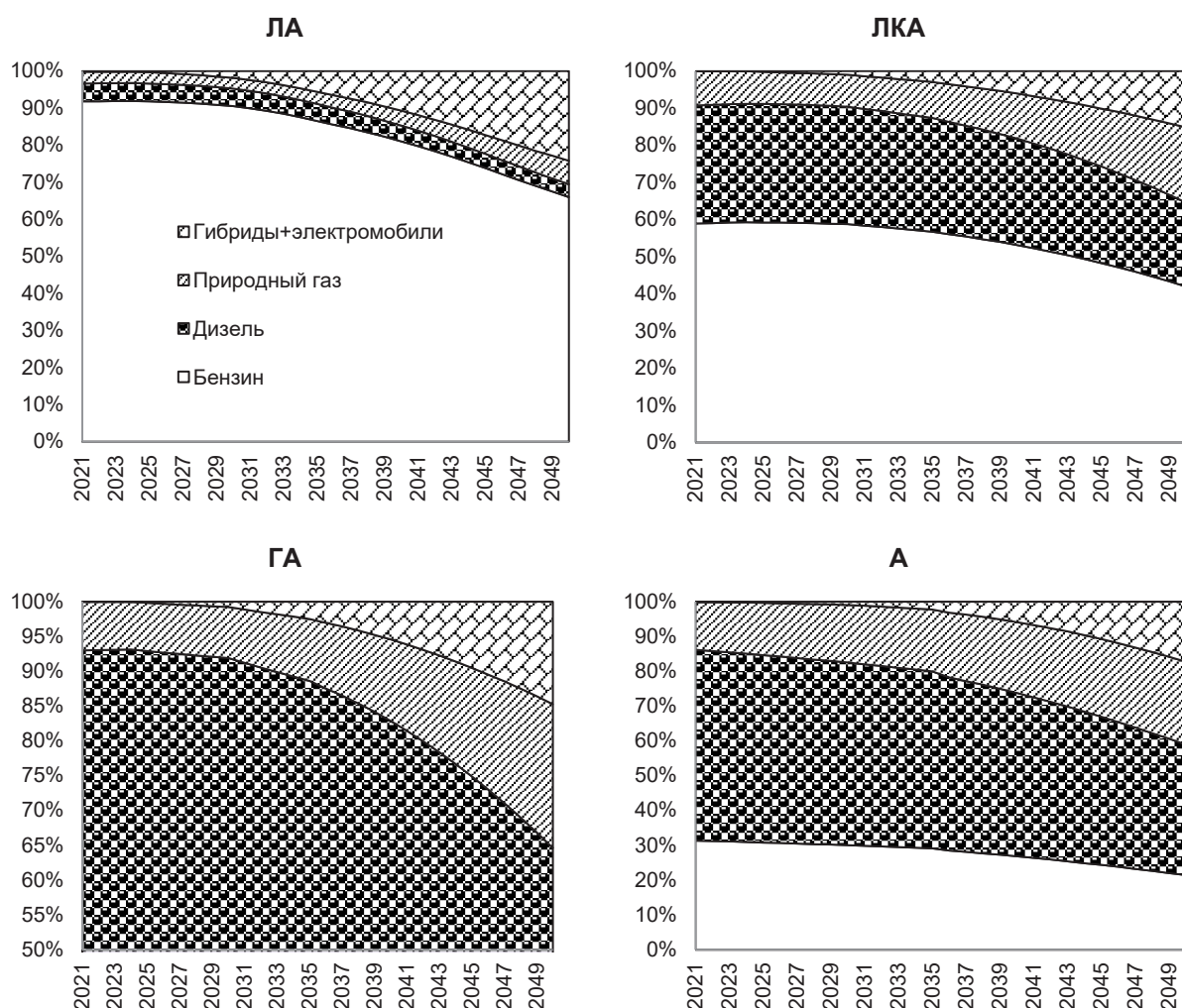


Рисунок 5 – Прогноз структуры парка АТС по типу ЭУ на период до 2050 г., %
Источник: составлено авторами.

Figure 5 – Forecast of the car fleet structure by engine type for the period up to 2050, %
Source: composed by the authors.

По сравнению с ранее выполненными прогнозными оценками [6, 7] доля легковых электромобилей и гибридов к 2050 г. составит 24% численности парка, легких коммерческих – 12%, грузовых электромобилей и электробусов – 15%.

При реализации подварианта А сценария численность электромобилей может составлять 48,5% от общей численности парка легковых АТС в расчетном году (рисунок 6).

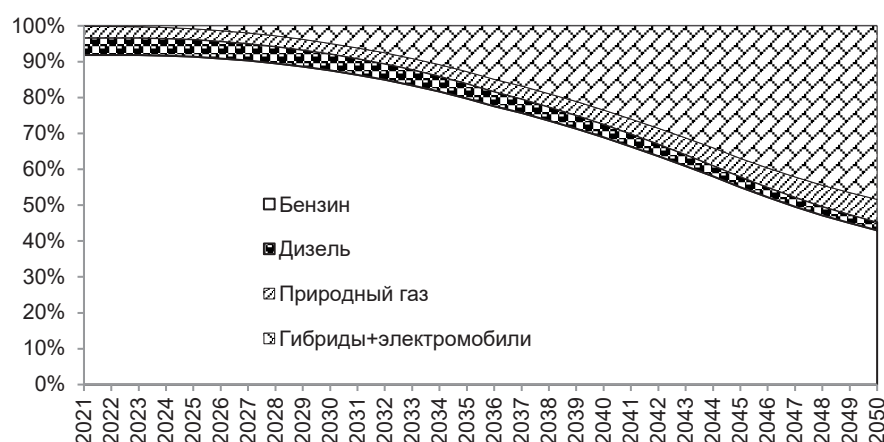


Рисунок 6 – Прогноз структуры парка легковых АТС по типу ЭУ (подвариант А сценария), %
Источник: составлено авторами.

Figure 6 – Forecast of passenger car fleet structure by type of engine (Scenario variant A), %
Source: composed by the authors.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ отечественных [13, 14] и зарубежных методик расчета выбросов парниковых газотранспортными потоками, баз данных и компьютерных программ их реализации^{7,8,9,10,11}, показал, что наиболее детально разработанной является методика, реализованная в программном комплексе Corpert 5. Для базового года с учетом баланса расхода топлива [8] были определены расчеты выбросов ПГ по этой методике. Но при выполнении прогноза валовых выбросов CO₂ учитывались не только объёмы потребления различных видов топлива, но и косвенные выбросы от производства электроэнергии для автопарка России. Эмиссия ПГ определялась по упрощенной методике, исходя из численности легковых, грузовых автомобилей и автобусов с различными типами силовых установок, их удельного расхода топлива и коэффициентов эмиссии, среднегодового пробега, а для прогнозного периода –

учитывался тренд повышения топливной экономичности АТС [8, 9].

В основе расчета прогнозных оценок валовых выбросов парниковых газов разных типов АТС с использованием программы Corpert 5 лежит прямое и полное окисление углерода, содержащегося в топливе, в процессе сжигания или непосредственно после него (для всех видов топлива и типов транспортных средств), независимо от того, выбрасывается ли ПГ в виде углекислого газа или в виде CH₄, CO, летучих органических соединений (ЛОС) или в виде твердых частиц (уровень 1 МГЭИК).

Результаты прогнозных оценок суммарных (прямых и косвенных) валовых выбросов парниковых газов автомобильным парком России с учетом приведенных выше данных по типу, численности и структуре парка по виду используемого топлива (энергии) представлены на рисунке 7.

⁷ EMEP/CORINAIR Atmospheric emission inventory guidebook - First edition 1996. URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-corinair-atmospheric-emission-inventory>.

⁸ GEF Transportation Emissions Evaluation Model for Projects. URL: <http://www.thegef.org/gef/node/4638>

⁹ For Future Inland Transport Systems (ForFITS). URL: <http://www.unece.org/?id=19273>

¹⁰ VISUM. Available online: <http://ptv-vision.ru/produkty/visum>

¹¹ Handbook Emission Factors for Road Transport (HBEFA). URL: <http://www.hbefa.net/e/index.html>

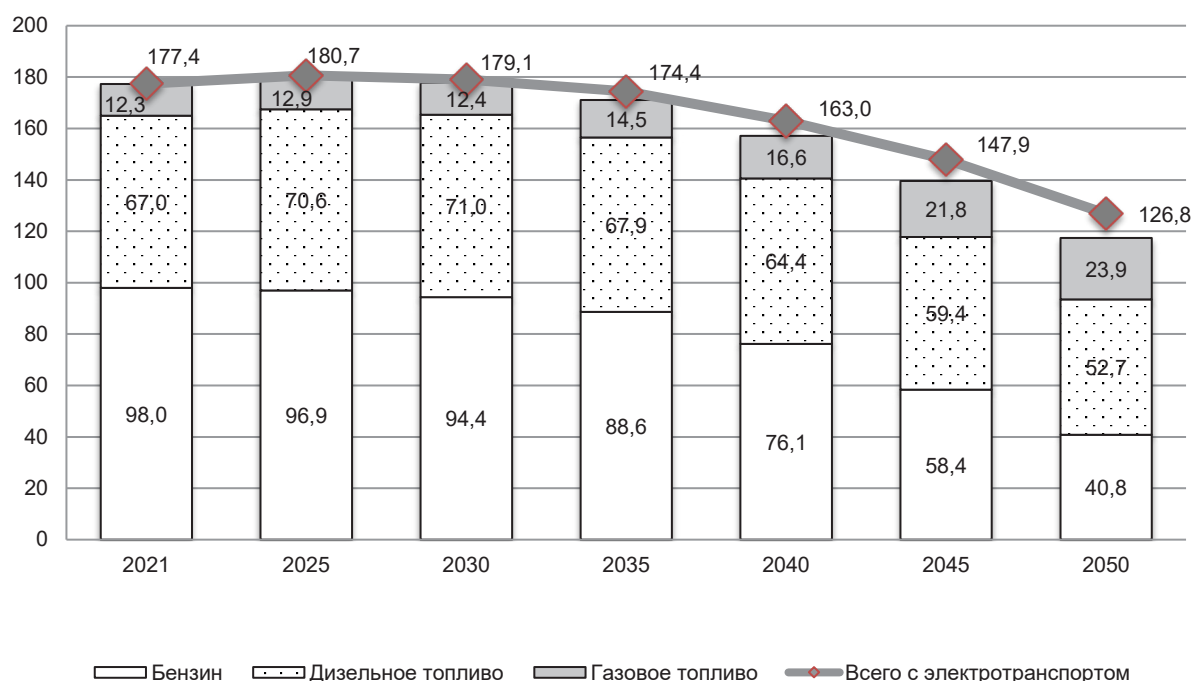


Рисунок 7 – Прогноз прямых (от сжигания углеродсодержащего топлива в ДВС АТС) и косвенных выбросов парниковых газов, млн т CO₂-экв
Источник: составлено авторами.

Figure 7 – Forecast of direct (from combustion of carbon-containing fuel) and indirect greenhouse gas emissions, million tons CO₂-eq
Source: composed by the authors.

Следует отметить, что суммарные валовые выбросы ПГ автомобильным парком России в 2050 г. могут составить порядка 126,8 млн т CO₂-экв.¹² что на 28,5% меньше, чем в 2021 г. При этом численность автомобильного парка может сократиться с 59,8 до 51,7 млн ед.

По сравнению с ранее выполненными оценками в 2021 г. [9] суммарные валовые выбросы ПГ автомобильным парком в 2050 г. при реализации инновационного сценария будут на 23,29 млн т CO₂-экв. больше. И только в 2045 г. они будут сопоставимыми (при реализации инновационного сценария – 133,42 млн т CO₂-экв.). Это означает, что с учетом обновленных значений исходных данных по уровню автомобилизации, доле использования АТС на тяговом электроприводе

и топливных элементах значение суммарного валового выброса ПГ автомобильным парком по сравнению с ранее разработанными сценарными прогнозами может быть достигнуто на 5 лет позже, т.е. не к 2045, а к 2050 г.

В приведенных на рисунке 8 прогнозных оценках суммарных валовых выбросов ПГ доля косвенных выбросов ПГ (при производстве электроэнергии в ТЭК, использованной для выполнения транспортной работы электромобилями всех типов) определена с использованием значений расхода электроэнергии на тягу современных электромобилей в ездовых циклах (кВт·ч/км)¹², а также представленных в публичном пространстве производителями АТС и полученных из других источников информации.

¹² Трофименко Ю.В., Деянов Д.А. Инженерная методика оценки расхода топлива (энергии) автотранспортными средствами // Автотракторостроение и автомобильный транспорт. Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. В 2-х томах. Минск. 2022. С. 42–46.

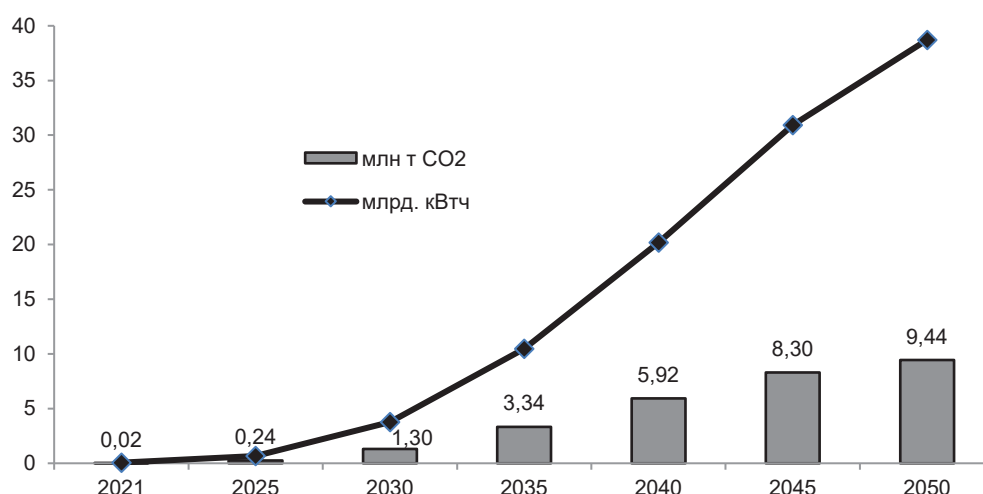


Рисунок 8 – Прогноз косвенных выбросов парниковых газов (млн т CO₂) и требуемое количество дополнительных энергетических мощностей в ТЭК (млрд кВт·ч) для АТС на тяговом электроприводе
Источник: составлено авторами.

Figure 8 – Forecast of indirect greenhouse gas emissions (million tons of CO₂) and the required amount of additional energy capacity in the fuel and energy complex (billion kWh) for electric vehicles
Source: composed by the authors.

Следует отметить, что в 2050 г. косвенные выбросы ПГ за счет выработки электроэнергии в ТЭК на привод электромобилей могут составить порядка 9,44 млн т. CO₂, т.е. около 7,4% суммарных выбросов ПГ автомобильным парком. При этом общий объем выработки электроэнергии в ТЭК на привод электромобилей в парке в 2050 г. может составить 38,71 млрд кВт·ч. Данное значение примерно в 1,3 раза меньше, чем получено в ранее выполненном прогнозе потребления электроэнергии для электромобилей на 2050 г. при реализации инновационного сценария развития автомобильного транспорта [9].

При таком уровне развития электромобилизации эффект по снижению выбросов ПГ в транспортном секторе будет лишь в незначительной части зависеть от интенсивности ввода новых генерируемых мощностей и объемов использования в ТЭК атомной энергетики и возобновляемых источников энергии (ВИЭ), электроэнергия от которых будет потребляться транспортными средствами.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на основании разработанного прогноза с учетом целевых показателей, заложенных в актуализированной стратегии развития автомобильной промышленности Российской Федерации на период до 2035 г.,

уточнения численности и структуры парка АТС в последние годы было установлено, что в обозримой перспективе темпы декарбонизации автомобильного транспорта могут замедлиться. По сравнению с ранее составленными прогнозами значение суммарных выбросов ПГ автомобильным парком в 2050 г. по актуальному прогнозу будет примерно таким же, как при реализации инновационного прогноза развития автомобильного транспорта в 2045 г., то есть будет отставать примерно на 5 лет.

При этом в автомобильном парке в 2050 г. преобладать будут АТС с ДВС на углеводородном топливе (жидком, газообразном). Только после 2044–2045 гг. доля продаж легковых, легких коммерческих и грузовых электромобилей и электробусов может превысить долю продаж этих типов АТС с ДВС.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Tyson, K.S. Biodiesel – the Clean, Green Fuel for Diesel Engines. U.S. Department of Energy National Renewable Energy Laboratory, 2000. URL: <https://p2infohouse.org/ref/38/37713.pdf> (дата обращения: 20.04.2023).
2. Ji, M.; Wei, Z. Review of Water Management in Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells. *Energies*, 2009. Available online: <http://www.mdpi.com/1996-1073/2/4/1057/htm> (дата обращения: 20.04.2023).
3. Russ, J. New Frontiers in Solar Cell Conversion Efficiency. Spectrolab, Inc., 2009.

4. Ehsani, M.; Gao, Y. Modern Electric, Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles Fundamentals Theory and Design. Second edition. A. Emadi, CRC Press, 2010, 558 p.
5. Kalghatgi, G. Development of Fuel/Engine Systems - The Way Forward to Sustainable. *Transport Engineering*. 2019. Vol. 5. pp. 510-518. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eng.2019.01.009>.
6. Trofimenko Y., Komkov V. and Trofimenko K. Forecast of energy consumption and greenhouse gas emissions by road transport in Russia up to 2050. *Transportation Research Procedia*, 14th International Conference on Organization and Traffic Safety Management in Large Cities, 2020. pp. 698-707.
7. Trofimenko Y., Komkov V. and Donchenko V. Problems and prospects of sustainable low carbon development of transport in Russia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 177 (2018), 012014.
8. Trofimenko Yu. V., Komkov V. I., Donchenko V. V. and Potapchenko T. D. Model for the assessment greenhouse gas emissions from road transport. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*. 2019. Vol. 7. No. 1. pp. 465-473.
9. Trofimenko Yu. V., Komkov V. I. Forecast of decarbonization of road transport in Russia until 2050 in the context of digitalization and expansion of the use of unmanned vehicles. 2021 *Intelligent technologies and electronic devices in vehicle and road transport complex (TIRVED)*, 2021, DOI: 10.1109/TIRVED53476.2021.9639206.
10. Трофименко Ю. В., Гинзбург В. А., Комков В. И., Лытов В. М. Влияние структуры парка автотранспортных средств по виду топлива и экологическому классу на выбросы парниковых газов // Вестник СибАДИ. 2018. Т. 15, № 6. С. 898–910. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2018-6-898-910>
11. Трофименко Ю. В., Ефремов А. В., Фурсов С. Б. Упрощенная методика прогнозирования численности парка автотранспортных средств // Совершенствование автомобильных и тракторных двигателей: сборник научных трудов. М.: МАДИ. 1992. С. 27–32.
12. Трофименко Ю. В., Воронцов Ю. М., Трофименко К. Ю. Утилизация автомобилей: научная монография под ред. Ю. В. Трофименко. Москва: АКПРЕСС. 2011. 332 с.
13. Донченко В. В., Кунин Ю. И., Рузский А. В., Виженский В. А. Методы расчёта выбросов от автотранспорта и результаты их применения // Журнал автомобильных инженеров. № 86. 2014. С. 44–51.
14. Чижова В. С., Пыжова Е. А. Обзор методик расчета выбросов взвешенных частиц PM10 и PM2,5 в атмосферный воздух дорожно-транспортным комплексом на территориях крупных городов // Научный вестник автомобильного транспорта. 2021. № 3. С. 18–25.
15. Ji, M.; Wei, Z. Review of Water Management in Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells. *Energies*, 2009, available at: <http://www.mdpi.com/1996-1073/2/4/1057/htm>.
16. Russ, J. New Frontiers in Solar Cell Conversion Efficiency. Spectrolab, Inc., 2009.
17. Ehsani, M.; Gao, Y. Modern Electric, Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles Fundamentals Theory and Design. Second edition. A. Emadi, CRC Press, 2010. 558 p.
18. Kalghatgi, G. Development of Fuel/Engine Systems - The Way Forward to Sustainable. *Transport Engineering*. 2019; Vol. 5: 510-518. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eng.2019.01.009>.
19. Trofimenko Y., Komkov V. and Trofimenko K. Forecast of energy consumption and greenhouse gas emissions by road transport in Russia up to 2050. *Transportation Research Procedia*, 14th International Conference on Organization and Traffic Safety Management in Large Cities. 2020: 698-707.
20. Trofimenko Y., Komkov V. and Donchenko V. Problems and prospects of sustainable low carbon development of transport in Russia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 177 (2018), 012014.
21. Trofimenko Yu. V., Komkov V. I., Donchenko V. V. and Potapchenko T. D. Model for the assessment greenhouse gas emissions from road transport. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*. 2019; Vol. 7, No. 1: 465-473.
22. Trofimenko Yu. V., Komkov V. I. Forecast of decarbonization of road transport in Russia until 2050 in the context of digitalization and expansion of the use of unmanned vehicles. 2021 *Intelligent technologies and electronic devices in vehicle and road transport complex (TIRVED)*, 2021. DOI: 10.1109/TIRVED53476.2021.9639206
23. Trofimenko J. V., Ginzburg V. A., Komkov V. I., Lytov V. M. Influence of the motor vehicle parking structure by fuel type and ecological class on greenhouse gas emissions. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2018;15 (6): 898-910. (In Russ.) <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2018-6-898-910>
24. Trofimenko Ju. V., Efremov A. V., Fursov S. B. *Uproshhennaja metodika prognozirovaniya chislennosti parka avtotransportnyh sredstv* [A simplified method of forecasting the number of motor vehicle fleet]. Improvement of automobile and tractor engines: a collection of scientific papers, Moscow, MADI. 1992: 27-32. (In Russ.)
25. Trofimenko Ju. V., Voroncov Ju. M., Trofimenko K. Ju. *Utilizacija avtomobilej: nauchnaja monografiya* [Car Disposal: Scientific Monograph]. Moscow, AK-PRESS. 2011: 332. (In Russ.)
26. Donchenko V. V.; Kunin A. V.; Ruzsky, V.; Vizhensky, Yu. I. Metody raschjota vybrosov ot avtotransporta i rezul'taty ih primenenija [Methods for calculating emissions from motor vehicles and the results of their application]. *Zhurnal avtomobil'nyh inzhenerov*. 2014; 3 (86): 44-51. (In Russ.)
27. Chizhova, V. S. Pyzhova, E. A. Obzor metodik rascheta vybrosov vzveshennyh chastic RM10 i

REFERENCES

RM2,5 v atmosfernyj vozduh dorozhno-transportnym kompleksom na territorijah krupnyh gorodov [Review of methods for calculating emissions of suspended particles PM10 and PM2.5 into the atmospheric air by road transport complex in the territories of large cities]. *Nauchnyj vestnik avtomobil'nogo transporta*. 2021; 3: 18-25. (In Russ.)

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Трофименко Ю. В. Существенный вклад в разработку общей концепции научной работы и получение исходной информации по структуризации парка автомобилей.

Комков В. И. Вклад в содействие подбора аналитических данных, их обработка и проведение расчетов (работа с программой Copert), а также редактирование элементов данной статьи.

COAUTHORS' CONTRIBUTION

IUrii V. Trofimenko made a significant contribution to the development of the general concept of scientific work and obtaining initial information on the structurization of the car fleet.

Vladimir I. Komkov contributed to the selection of analytical data, their processing and calculations (work with the Copert program), as well as editing elements of this article.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Трофименко Юрий Васильевич – д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой техносферной безопасности, SPIN-код: 6706-7760.

Комков Владимир Иванович – канд. техн. наук, доц. кафедры техносферной безопасности, SPIN-код: 5444-3081.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

IUrii V. Trofimenko – Dr. of Sci., Professor, the Head of the Technosphere Safety Department, SPIN-код: 6706-7760.

Vladimir I. Komkov – Cand. Of Sci., Associate Professor of the Technosphere Safety Department, SPIN-код: 5444-3081.