

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ / TECHNOSPHERE SAFETY OF TRANSPORT SYSTEMS

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.42>

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ НА АВТОМАГИСТРАЛЯХ

Научная статья

Нестеренко И.С.<sup>1</sup>, Нестеренко Г.А.<sup>2,\*</sup>, Оспанов Б.Т.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ORCID : 0000-0003-4749-010X;

<sup>2</sup> ORCID : 0000-0003-1528-4627;

<sup>1,2,3</sup> Омский государственный технический университет, Омск, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (nga112001[at]list.ru)

**Аннотация**

В статье описывается конструкция и особенности электромобилей, приводится их сравнение с автомобилями с двигателем внутреннего сгорания. Рассмотрены динамические свойства электромобилей по сравнению с классическими. Приведены расчеты взаимодействия электромобиля и дорожного ограждения. Получены значения энергии столкновения электромобиля и произведено сравнение с энергией развиваемой традиционным автомобилем. Описаны последствия столкновения, особенности возгорания электромобиля.

Основной задачей данной работы является освещение проблемы обеспечения дорожной безопасности при внедрении нового типа транспортного средства в состав участников дорожного движения. Актуальность работы обусловлена возрастающим количеством электромобилей и, как следствие, увеличением количества дорожно-транспортных происшествий, особенно остро эта проблема возникает на автомагистралях.

**Ключевые слова:** безопасность, электромобиль, транспортные средства, автомагистраль, надежность.

ENSURING THE SAFETY OF ELECTRIC VEHICLES ON MOTORWAYS

Research article

Nesterenko I.S.<sup>1</sup>, Nesterenko G.A.<sup>2,\*</sup>, Ospanov B.T.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ORCID : 0000-0003-4749-010X;

<sup>2</sup> ORCID : 0000-0003-1528-4627;

<sup>1,2,3</sup> Omsk State Technical University, Omsk, Russian Federation

\* Corresponding author (nga112001[at]list.ru)

**Abstract**

The article describes the design and features of electric vehicles, compares them with cars with internal combustion engine. Dynamic properties of electric cars compared to classic cars are examined. The calculations of interaction between an electric car and a road barrier are given. The values of collision energy of an electric car are obtained and compared with the energy developed by a traditional car. Consequences of collision and fire specifics of electric car are described.

The main objective of this work is to highlight the problem of road safety when introducing a new type of vehicle into the composition of road users. The relevance of the work is due to the increasing number of electric vehicles and, as a consequence, the increasing number of road accidents, especially acute this problem arises on motorways.

**Keywords:** safety, electric vehicle, vehicles, motorway, security.

**Введение**

Российская Федерация является крупнейшей страной, для ее экономического развития необходимо иметь качественную и безопасную сеть транспортного сообщения. В связи с этим одним из основополагающих факторов является обеспечение безопасности на дорогах. Использование транспортных средств влечет за собой определенные угрозы, а именно дорожно-транспортные происшествия (ДТП), они наносят не только экономический удар, но и демографический. Соответственно необходимо предоставить возможность безопасно перемещаться по дорогам общего назначения.

В современном мире все больше увеличивается количество личных автомобилей, в период с 2010 по 2023 годы количество автомобилей на тысячу человек шагнуло от 130,5 до 326,9 единиц [1]. В настоящее время во владении многих граждан нашей страны находятся не только традиционные автомобили с двигателем внутреннего сгорания (ДВС), но и транспортные средства, работающие на электричестве, количество которых также увеличивается, отчасти это связано со значительным количеством льготных условий, принятых в нашей стране. По данным автостата (рис. 1), объем продаж электромобилей в России будет ускоряться, а следовательно, и доля дорожно-транспортных происшествий с их участием будет возрастать. Статистические данные о количестве ДТП, связанных с наездом на препятствие показали, что данные происшествия составляют 6,9% (рис. 2).

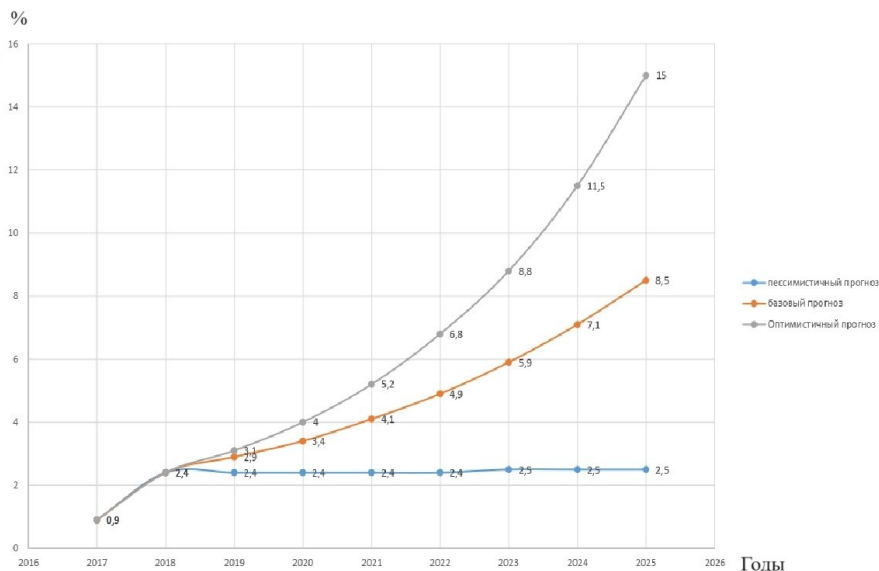


Рисунок 1 - Прогноз динамики развития рынка электромобилей в России [1]  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.42.1>

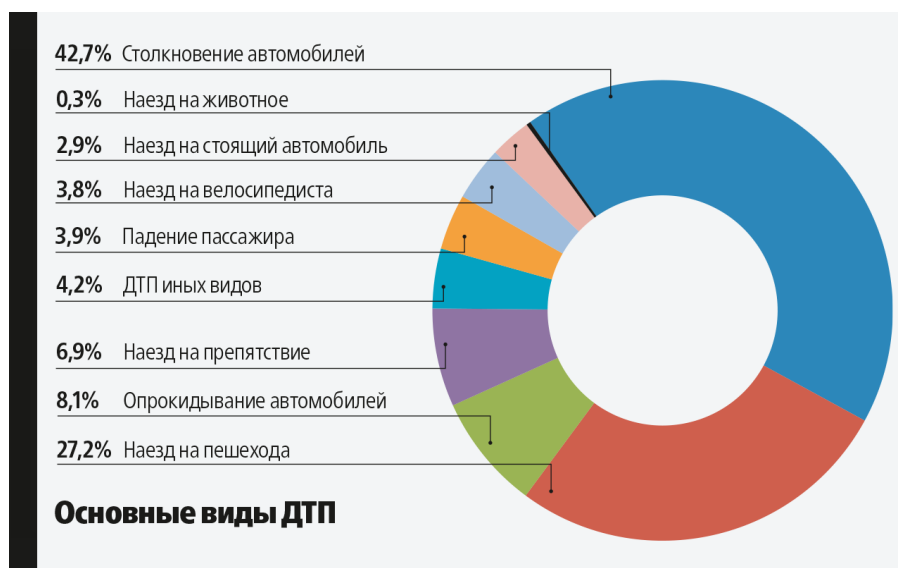


Рисунок 2 - Распределение основных видов дорожно-транспортных происшествий в России за 2023 год [2]  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.42.2>

В работах, выполненных ранее, указывается, что на безопасность участников дорожного движения непосредственное влияние оказывают системы пассивной безопасности [3], [4]. Элементы пассивной безопасности дороги, такие как ограждения дорожные барьерного типа, которые устанавливаются на земляном полотне автомобильной дороги в пределах рабочего, переходного и концевых участков [5], [6], позволяют снизить последствия ДТП, выполняя удерживающую функцию, особенно в горной местности. Все имеющиеся конструкции рассчитаны на взаимодействие с автомобилями, имеющими определенную высоту центра тяжести. В случаях с электромобилями центр тяжести находится гораздо ниже, чем у классических автомобилей. Таким образом, при взаимодействии с ограждающими конструкциями в момент ДТП происходит неконтролируемое разрушение автомобиля, что негативно сказывается на здоровье водителя и пассажиров.

Таким образом, актуальность исследований надежности предохранительных барьеров на автомагистралях обоснована.

Целью работы является определение оптимальной высоты расположения ограждающих конструкций на автомагистралях, которая поможет обеспечить наименьшую травмоопасность для водителей и пассажиров в момент наступления ДТП.

#### Методы и принципы исследования

Электромобили имеют некоторые отличия от традиционных автомобилей с двигателями внутреннего сгорания. Конструкция электромобиля предполагает в себе наличие следующих компонентов:

1. Электромотор-силовой агрегат, обеспечивающий движение транспортного средства, представляет собой статор (неподвижная часть электромотора) и ротор (подвижная часть). Под действием электромагнитных сил, создаваемых в данном узле, создается вращение. Существуют различные схемы электромоторов, в электромобиле чаще всего используются бесколлекторные схемы. Наиболее эффективный тип силовой установки, на сегодняшний момент – бесколлекторный синхронный электродвигатель.

2. Трансмиссия – передает крутящий момент с силового элемента на движитель. Ввиду высокого начального момента и широкого диапазона эффективной частоты вращения, развиваемого электродвигателем, данному типу автомобиля не требуется сложная трансмиссия со множеством скоростей.

3. Тяговая батарея-энергетический элемент, представляющий собой набор ячеек с контроллерами, является самой дорогой составляющей электромобиля. Батареи подразделяются по объему и величине рабочего напряжения.

4. Инвертор-устройство, служащее для преобразования постоянного тока батареи электромобиля в переменный, необходимый для работы электромоторов. Также этот блок ответственен за управление величиной ускорения и рекуперации.

5. Аккумулятор – низковольтная электрическая подсистема, необходимая для функционирования бортовой электроники, светотехники, электроусилителей и прочих систем.

6. Система терморегулирования – система, состоящая из радиаторов и тепловых магистралей, необходимая тяговой батарее и инвертору для наиболее эффективной работы [7].

Особенностью электромобиля является его вес, который значительно больше веса среднего автомобиля с ДВС того же класса, например, вес самого популярного электромобиля TESLAModelY составляет 2072 кг, также вес популярно авто ToyotaRAV 4 с ДВС составляет всего 1565 кг, что практически на четверть легче рассматриваемого электромобиля [8], [9]. В дальнейшем, при увеличении количества электромобилей, средний вес легкового транспорта неизбежно увеличится, что может стать проблемой как для дорожного полотна, так и для многоэтажных гаражных сооружений [10].

### Основные результаты

В современных автомобилях значительную часть массы составляет силовая установка, вес которой составляет 150-200 кг, в свою очередь, самой тяжелой частью электромобиля является тяговая батарея находящаяся в «полу» транспортного средства, что обеспечивает низкий центр тяжести, ее вес составляет 420-480 кг. в зависимости от модели электромобиля.

Изменение состава дорожного трафика требует корректировки средств, обеспечивающих безопасность дорожного движения. А именно дорожных ограждений. На настоящий момент дорожные ограждения возводятся с учетом нормативного документа «ГОСТ Р 52289-2019 Технические средства организации дорожного движения», в котором описываются необходимые параметры, требуемые от ограждения (Таблица 1, Таблица 2) [11], [12].

Таблица 1 - Уровни удерживающей способности

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.42.3>

Уровень удерживающей способности	У1	У2	У3	У4	У5	У6	У7	У8	У9	У10
Значение уровня, кДж, не менее	130	190	250	300	350	400	450	500	550	600

Таблица 2 - Уровни удерживающей способности ограждений

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.42.4>

Место установки ограждения	Продольный уклон дороги, %	Группа дорожных условий	Уровень удерживающей способности в зависимости от категории автомобильной дороги, числа полос движения в обоих направлениях и их ширины							
			IA; IB		IB		II		III	IV
			6	4	6	4	4	2; 3	2	2
Ширина полосы движения, м										

			3,75				3,5	3,75	3,5	3,0
Обочины прямолинейных участков дорог и кривой в плане радиусом более 600 м.	До 40	А	У5	У4	У4	У3	У3	У2	У2	У1
		Б	У4	У3	У3	У2	У2	У1	У1	У1
Обочина с внутренней сторонами кривой в плане радиусом менее 600 м на спуске и после него на участке длиной 100 м	40 и более	А	У6	У5	У5	У4	У3	У2	У2	У1
		Б	У5	У4	У4	У3	У2	У1	У1	У1
Обочина с внешней сторонами кривой в плане радиусом менее 600 м на спуске и после него на участке длиной	До 40	А	У6	У5	У5	У4	У3	У2	У2	У1
		Б	У5	У4	У4	У3	У2	У1	У1	У1
	40 и более	А	У7	У6	У6	У5	У4	У4	У3	У2
		Б	У6	У5	У5	У4	У3	У3	У2	У1

й 100										
Обочина на вогнутой кривой в продольном профиле, сопрягающей участки с абсолютным значением алгебраической разности встречных уклонов не менее 50‰	Любой	А	У6	У5	У5	У4	У3	У2	У2	У2
		Б	У5	У4	У4	У3	У2	У2	У1	У1
Разделительная полоса	Любой	А	У6	У5	У5	У4	Разделительная полоса отсутствует			
		Б	У5	У4	У4	У3				
Размер полосы движения для реконструируемых участков дорог может быть принят равным 3,5; 3,75 или 4,0 м										

Примечание: *IA* – автомагистраль; *IB* – скоростная дорога; *IB* – дорога обычного типа

Согласно ПДД РФ, пункт 10.3, скорость вне населенных пунктов не должна превышать 90 км/ч.

По усредненным параметрам в качестве допущения можно принять оптимальный угол для расчетов в 45 градусов.

Определим энергию воздействия электромобиля TESLAModelY при столкновении на автомагистрали под углом 45 градусов.

$$E=0,5mV^2\sin\alpha$$

Где:

$E$  – табличное значение удерживающей способности (кДж);

$m$  – масса транспортного средства (кг);

$V$  – скорость развиваемая транспортным средством (м/с);

$\alpha$  – угол столкновения.

Полученное значение (458 кДж) превышает удерживающее значение даже укрепление с классом удерживающей способности У7 (450 кДж).

### Обсуждение

Как уже было сказано ранее, центр тяжести электромобиля находится существенно ниже автомобилей с ДВС из-за наличия батарей в полу транспортного средства. Данное условие может являться критическим фактором при столкновении с дорожным ограждением, поскольку в фронтальной части наиболее тяжелой составной частью является двигатель, который находится существенно выше в сравнении с уровнем расположения энергоносителей электрокара. Схема взаимодействия представлена на рисунке 3.

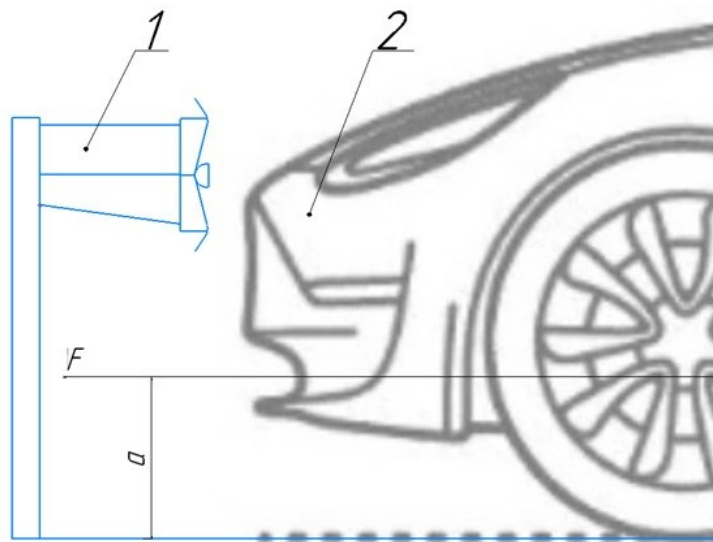


Рисунок 3 - Схема взаимодействия электромобиля и ограждения  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.42.5>

*Примечание: F – вектор силы батареи воздействующий на ограждение; a – высота установки батареи; 1 – дорожное ограждение барьерного типа; 2 – электромобиль TESLA model Y*

Более низкая точка приложения основной ударной нагрузки, в купе с ее большей энергией, может сказаться на механике сдерживания автомобиля и привести к непредсказуемым последствиям, одной из которых может являться неправильная деформация ограждения. У электромобиля TESLA model S батарея, составляющая большую часть массы транспортного средства, находится ниже оси колес. Вследствие вышеописанных факторов необходимо увеличить значение удерживающей нагрузки, а также оснастить ограждение дополнительным «щитом» для более равномерного приложения нагрузки при подобных сценариях.

При столкновении на большой скорости с какой-либо преградой автомобиль может воспламениться, электромобиль не лишен этой опасной особенности, более того в горении автомобиля есть важные аспекты.

При тщательном рассмотрении механики возгорания электромобилей выяснилось, что воспламенение транспортного средства невозможно без этапа термического разгона. Данный процесс представляет собой цепную реакцию ячеек энергоносителя, которая начинается с нагрева катода, выполненного из литий-кобальтового оксида, который в дальнейшем выделяет кислород окисляющий электролит, вследствие чего температура еще больше возрастает и данный процесс переходит на соседние ячейки. Рассматриваемый процесс чаще наблюдается в теплое время года [13], [14].

### **Заключение**

Таким образом, были исследованы статистические данные роста количества электромобилей в общем списке транспортных средств, описана конструкция типового электромобиля, отражены отличия электромобилей и автомобилей с ДВС, рассчитаны кинетические энергии электромобиля и автомобиля с двигателем внутреннего сгорания и произведены сравнения с параметром удерживающей способности описанной в «ГОСТ Р 52289-2019 Технические средства организации дорожного движения», представлена схема взаимодействия электромобиля и ограждения, разобран вопрос о проблематичности тушения электрического транспортного средства при возгорании, представлены имеющиеся примеры, определен первостепенный этап возгорания.

Представленная методика расчета высоты барьеров ограждения позволяет выполнить их с учетом использования на автомагистралях по которым будут передвигаться не только классические автомобили с тепловыми ДВС, но и электромобили. Ранее использовались нормативы, которые были актуальны для расчетов высоты ограждений на автомагистралях, по которым передвигались только автомобили с тепловыми ДВС.

При проектировании и производстве ограждений на автомагистралях можно рекомендовать увеличить поверхность барьеров за счет снижения расположения нижнего его края с целью демпфирования ударных нагрузок в момент наступления ДТП с участием электромобилей.

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Рецензия**

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Review**

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

**Список литературы / References**

1. Федеральная служба государственной статистики : официальный сайт // Росстат. — URL: <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения: 06.05.2024).
2. Данные по статистике ДТП // Ремонт автомобиля. — 2023. — URL: <https://remontautomobilya.ru/wp-content/uploads/2023/03/7-2.jpg> (дата обращения: 12.07.2024).
3. Мансуров О. И. Использование тросовых конструкций в удерживающих, ограждающих и демпфирующих системах защиты на автомобильных дорогах / О. И. Мансуров // Безопасность жизнедеятельности. — 2007. — № 6. — С. 36–45.
4. Петров Г. В. Совершенствование конструкций проезжей части для обеспечения безопасности дорожного движения / Г. В. Петров, И. С. Таран, М. Г. Симуль // Образование. Транспорт. Инновации. Строительство : Сборник материалов IV Национальной научно-практической конференции, Омск, 22-23 апреля 2021 года. — Омск : Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2021. — С. 374–378.
5. Ограждения дорожные металлические барьерного типа. — Введ. 2013-11-01. — Москва : Национальные стандарты, 2012. — 37 с.
6. Коновалова Т. В. Элементы дорожной инфраструктуры и влияние их на безопасность дорожного движения / Т. В. Коновалова, С. Л. Надирян, А. А. Изюмский [и др.] // International Journal of Advanced Studies. — 2022. — Т. 12. — № 2. — С. 49–68. DOI: 10.12731/2227-930X-2022-12-2-49-68
7. Толстошеев С. Н. Анализ конструкции и эксплуатации электромобилей / С. Н. Толстошеев // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 01-30 мая 2015 года. — Белгород : Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2015. — С. 894–898.
8. Tesla electric car // TESLA. — URL: <https://www.tesla.com> (accessed: 06.05.2024).
9. Автомобиль Toyota // TOYOTA. — URL: <https://www.toyota.ru> (дата обращения: 06.05.2024).
10. Nesterenko G. Overview of road safety activities / G. Nesterenko, I. Nesterenko, S. V. Dorokhin [et al.] // E3S Web of Conferences. — 2024. — Vol. 471. — P. 05017. DOI 10.1051/e3sconf/202447105017
11. ГОСТ Р 52289-2019 Технические средства организации дорожного движения : национальный стандарт Российской Федерации. — Введ. 2019-12-20. — Москва : ФАУ «РОСДОРНИИ», 2019. — 134 с.
12. Нестеренко Г. А. Об актуальности развития сети электроавтозаправочных станций в г. Омске / Г. А. Нестеренко, И. С. Нестеренко, А. А. Орлов // Автомобильная промышленность. — 2022. — № 8. — С. 25–26.
13. Нестеренко И. С. К вопросу обеспечения безопасности на автомобильных дорогах / И. С. Нестеренко, Г. А. Нестеренко, И. П. Залознов // Грузовик. — 2024. — № 4. — С. 32–34. DOI: 10.36652/1684-1298-2024-4-32-34
14. Мокряк А. В. Тепловой разгон и возгорание литий-ионного аккумулятора электромобиля / А. В. Мокряк // Вопросы науки. — 2022. — № 2. — С. 56–59.

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki [Federal State Statistics Service] : official website // Rosstat. — URL: <https://rosstat.gov.ru> (accessed: 06.05.2024). [in Russian]
2. Dannye po statistike DTP [Data on accident statistics] // Remont avtomobilja [Car repair]. — 2023. — URL: <https://remontautomobilya.ru/wp-content/uploads/2023/03/7-2.jpg> (accessed: 12.07.2024). [in Russian]
3. Mansurov O. I. Ispol'zovanie trosovyh konstrukcij v uderzhivayushchih, ograzhdayushchih i dempfiruyushchih sistemah zashchity na avtomobil'nyh dorogah [The use of cable structures in retaining, enclosing and damping protection systems on highways] / O. I. Mansurov // Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti [Life safety]. — 2007. — № 6. — P. 36–45. [in Russian]
4. Petrov G. V. Sovershenstvovanie konstrukcij proezhzej chasti dlya obespecheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya [Improving the structures of the carriageway to ensure road safety] / G. V. Petrov, I. S. Taran, M. G. Simul // Obrazovanie. Transport. Innovacii. Stroitel'stvo [Education. Transport. Innovation. Construction] : Collection of materials of the IV National Scientific and Practical Conference, Omsk, April 22-23, 2021. — Omsk : Siberian State Automobile and Road University (SibADI), 2021. — P. 374–378. [in Russian]
5. Ograzhdeniya dorozhnye metallicheskie bar'ernogo tipa [Metal road barriers of barrier type]. — Introduced 2013-11-01. — Moscow : Natsional'nye standarty, 2012. — 37 p. [in Russian]
6. Konovalova T. V. Elementy dorozhnoj infrastruktury i vliyanie ih na bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya [Elements of road infrastructure and their impact on road safety] / T. V. Konovalova, S. L. Nadiryan, A. A. Izyumsky [et al.] // International Journal of Advanced Studies. — 2022. — Vol. 12. — № 2. — P. 49–68. DOI: 10.12731/2227-930X-2022-12-2-49-68 [in Russian]
7. Tolstosheev S. N. Analiz konstrukcii i ekspluatatsii elektromobilej [Analysis of the design and operation of electric vehicles] / S. N. Tolstosheev // Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferenciya molodyh uchenyh BGTU im. V.G. Shuhova, Belgorod, 01-30 maya 2015 goda [International Scientific and Technical Conference of young Scientists of V.G. Shuhova, Belgorod, 01-30 May 2015]. — Belgorod : Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 2015. — P. 894–898.

- Shukhov BSTU, Belgorod, May 01-30, 2015]. — Belgorod : Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 2015. — P. 894–898. [in Russian]
8. Tesla electric car // TESLA. — URL: <https://www.tesla.com> (accessed: 06.05.2024).
9. Avtomobil' Toyota [Toyota car] // TOYOTA. — URL: <https://www.toyota.ru> (accessed: 06.05.2024). [in Russian]
10. Nesterenko G. Overview of road safety activities / G. Nesterenko, I. Nesterenko, S. V. Dorokhin [et al.] // E3S Web of Conferences. — 2024. — Vol. 471. — P. 05017. DOI 10.1051/e3sconf/202447105017
11. GOST R 52289-2019 Tekhnicheskie sredstva organizacii dorozhnogo dvizheniya [GOST R 52289-2019 Technical means of traffic management] : national standard of the Russian Federation. — Introd. 2019-12-20. — Moscow : FAU "ROSDORNII", 2019. — 134 p. [in Russian]
12. Nesterenko G. A. Ob aktual'nosti razvitiya seti elektroavtozapravochnyh stancij v g. Omske [On the relevance of the development of a network of electric filling stations in Omsk] / G. A. Nesterenko, I. S. Nesterenko, A. A. Orlov // Avtomobil'naya promyshlennost' [Automotive industry]. — 2022. — № 8. — P. 25–26. [in Russian]
13. Nesterenko I. S. K voprosu obespecheniya bezopasnosti na avtomobil'nyh dorogah [On the issue of ensuring safety on highways] / I. S. Nesterenko, G. A. Nesterenko, I. P. Zaloznov // Gruzovik [Truck]. — 2024. — № 4. — P. 32–34. DOI: 10.36652/1684-1298-2024-4-32-34 [in Russian]
14. Mokryak A. V. Teplovoj razgon i vozgoranie litij-ionnogo akkumulyatora elektromobilya [Thermal acceleration and ignition of a lithium-ion battery of an electric car] / A. V. Mokryak // Voprosy nauki [Questions of science]. — 2022. — № 2. — P. 56–59. [in Russian]