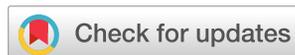


Научная статья  
УДК 656.13  
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-3-338-349>  
EDN: BVBDTX



## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ГОРОДСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ДЛЯ БЕЗОПАСНОГО ПЕРЕДВИЖЕНИЯ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ

**В. В. Донченко, В. А. Купавцев\***

Открытое акционерное общество «Научно-исследовательский институт  
автомобильного транспорта (НИИАТ)»,  
г. Москва, Россия

[doncenko@niiat.ru](mailto:doncenko@niiat.ru), <http://orcid.org/0000-0002-0544-7608>  
[kupavtsev.v.a@bk.ru](mailto:kupavtsev.v.a@bk.ru), <http://orcid.org/0000-0003-3964-0534>

\*ответственный автор

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Несмотря на введение новых поправок в правила дорожного движения, на дорогах Российской Федерации продолжают происходить ДТП с участием средств индивидуальной мобильности (СИМ). Анализ статистических показателей позволил определить, что более 90% происшествий происходит с участием СИМ, оборудованных электродвигателем, в основном это столкновения с транспортными средствами, с менее мощными, не оборудованными электродвигателем. Происходят наезды на пешеходов, что свидетельствует об определённых выбираемых условиях для движения – проезжая часть и тротуары. Помимо этого, установлено, что в данных случаях одним из возникающих видов происшествий является опрокидывание, связанное с первой очередь с имеющимися элементами на участках городских улиц и городских дорог, обладающих определённой высотой над уровнем дорог и тротуаров. С целью определения возможности опрокидывания с учетом данных элементов, в рамках выполненного исследования выполнен анализ городской инфраструктуры, определены основные элементы, представляющие опасность для движения СИМ, установлены их геометрические параметры и выполнен математический расчет условий движения.

**Методы и материалы.** В качестве материалов и методов выполнения исследования определены методы статистического анализа и математического расчета.

**Результаты.** В результате расчета авторами определены опасные для движения СИМ элементы городской инфраструктуры, при взаимодействии с которыми с большой долей вероятности произойдет опрокидывание рассматриваемого устройства и травмирование водителя СИМ.

**Заключение.** В результате выполненных расчетов были установлены основные опасные элементы, расположенные на городских улицах и дорогах, установлено, что на процесс опрокидывания оказывают влияние геометрические показатели самого устройства. С учетом полученных результатов определены перспективные направления повышения безопасности движения СИМ в городских транспортных системах – разработка требования к безопасности СИМ и создание специализированной инфраструктуры для безопасного движения СИМ в условиях современных городов.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** средства индивидуальной мобильности, элементы городской инфраструктуры, скорость движения, опрокидывание, безопасность

**Статья поступила в редакцию 07.05.2023; одобрена после рецензирования 06.06.2023; 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:** Донченко В. В., Купавцев В. А. Исследование элементов городской инфраструктуры для безопасного передвижения средств индивидуальной мобильности // Вестник СибАДИ. 2023. Т. 20, № 3 (91). С. 338-349. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-3-338-349>

© Донченко В. В., Купавцев В. А., 2023



Контент доступен под лицензией  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Origin article

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-3-338-349>

EDN: BVBDTX

## STUDY OF URBAN INFRASTRUCTURE ELEMENTS FOR PERSONAL MOBILITY DEVICES SAFE MOVEMENT

Vadim V. Donchenko, Vladimir A. Kupavtsev\*

OAO Research Institute of Automobile Transport (NIIAT)

[donchenko@niiat.ru](mailto:donchenko@niiat.ru), <http://orcid.org/0000-0002-0544-7608>

[kupavtsev.v.a@bk.ru](mailto:kupavtsev.v.a@bk.ru), <http://orcid.org/0000-0003-3964-0534>

\*corresponding author

### ABSTRACT

**Introduction.** Despite the introduction of new amendments to the rules of the road, accidents involving personal mobility device (PMD) continue to occur on the roads of the Russian Federation. The analysis of statistical indicators makes possible to determine that more than 90% of accidents occur in populated areas, with the participation of PMDs equipped with electric motor mainly collisions with vehicles, with less powerful, not equipped with electric motor mainly collisions with pedestrians occur, which indicates certain chosen conditions for driving - the roadway and sidewalks. In addition, it was found that in these cases, one of the emerging types of accidents is tipping, associated primarily with the available elements on sections of city streets and city roads, which have a certain height above the level of roads and sidewalks. In order to determine the possibility of a overturning taking these elements into account, the analysis of the urban infrastructure was determined, the main elements that pose a risk to PMD traffic were identified, their geometric parameters were established and a mathematical calculation of the traffic conditions was carried out in the study.

**Methods and materials.** As materials and methods for the study, the methods of statistical analysis and mathematical calculations were defined.

**Results.** As a result of the calculation, the authors identified the elements of the urban infrastructure that are dangerous for the movement of the PMD, when interacting with which, with a high degree of probability, the device in question will overturn and injure the driver of the PMD.

**Conclusion.** The calculations have identified the main hazardous elements located on the city streets and urban roads. It was found that the process of overturning is influenced by the geometric characteristics of the device. In view of the obtained results, the perspective directions of improvement of traffic safety in urban transport systems - development of requirements for safety PMD and creation of specialized infrastructure for the safe movement of the PMD in the conditions of modern cities were determined.

**KEYWORDS:** personal mobility devices, urban infrastructure elements, travel speed, overturning, safety

**The article was submitted 07.05.2023; approved after reviewing 06.06.2023; 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.* Donchenko V. V., Kupavtsev V. A. Study of urban infrastructure elements for personal mobility devices safe movement. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2023; 20 (3): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-3-338-349>

© Donchenko V. V., Kupavtsev V. A., 2023



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

## ВВЕДЕНИЕ

С недавнего времени на городских дорогах Российской Федерации стали появляться новые средства передвижения, такие как электросамокаты, гироскутеры и др., именуемые как средства индивидуальной мобильности (СИМ) [1, 2, 3]. Активное распространение данных средств передвижения обусловлено относительно низкой стоимостью, повышенной маневренностью, возможностью передвижения на различных участках улично-дорожной сети, предназначенной как для движения пешеходов, например тротуары, так и для автомобилей, например проезжей части, также одним из аспектов использования СИМ явилось определенное социальное дистанцирование, которое стало очень актуальным в условиях распространения COVID-19.

Несмотря на ряд положительных аспектов пользования, СИМ появляется один основной негативный фактор, связанный в первую очередь с возрастающей аварийностью [4, 5, 6]. Согласно ежегодному отчету научного центра безопасности дорожного движения<sup>1</sup> в общей сложности за последние 4 года в Российской Федерации было зарегистрировано 2165 происшествий (в период с 2019 по 2022 г.), в которых погибло 53 чел. и было ранено 2 257 чел. (рисунок 1). Из представленной гистограммы (см. рисунок 1) видно, что количество происшествий с каждым годом увеличивается.

Следует отметить, что показатели аварийности в Российской Федерации, связанные с автомобильным транспортом, снижаются [7, 8, 9, 10, 11, 12], что объясняется комплексным подходом к вопросу безопасности дорожного

движения и принятием концепции «нулевой смертности».

Обработка имеющегося массива данных позволяет определить основные виды происшествий, которые возникают с участием СИМ с учетом мощности рассматриваемых устройств. Так, с участием устройств малой мощности (менее 0,25 кВт) основным видом является наезд на пешехода (95%), с участием устройств, оборудованных электродвигателем, максимальной номинальной мощностью свыше 0,25 кВт (более 0,25 кВт и менее 4 кВт) основным видом происшествий является столкновение (66%). Также установлено, что более 99% происшествий происходит в пределах населенных пунктов, что свидетельствует о том, что рассматриваемые средства передвижения являются преимущественно городским видом транспорта (рисунок 2).

Имеющиеся данные по аварийности показывают, что активное использование СИМ и увеличивающийся спрос на данные устройства требуют создания безопасной инфраструктуры для их передвижения. Безусловно, создание специализированных полос для движения во многом улучшило бы ситуацию и позволило снизить имеющиеся показатели аварийности. Но помимо этого, необходимо также ограничить скорость движения таких устройств, с учетом анализа показателей аварийности определено, что СИМ малой мощности, судя по видам происшествий, в основном используют для движения тротуары, предназначенные для движения пешеходов, чем и объясняется высокий процент «наезда на пешехода» (рисунок 2, а).

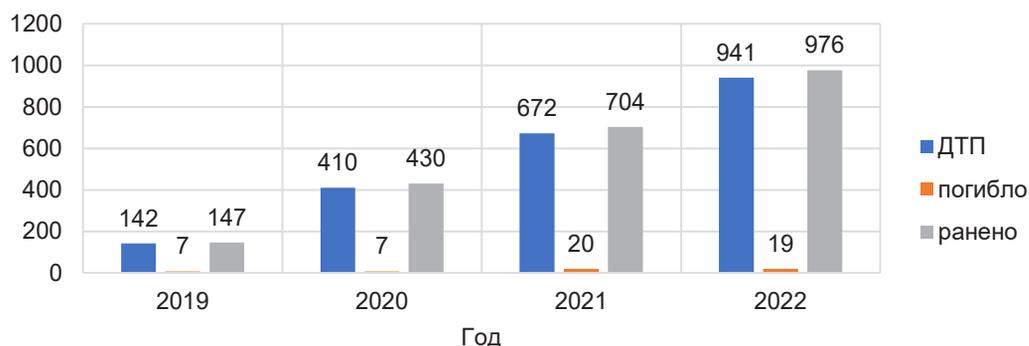


Рисунок 1 – Динамика основных показателей аварийности с участием СИМ [6]

Figure 1 – Dynamics of the main indicators of accidents involving PMD [6]

<sup>1</sup> Дорожно-транспортная аварийность в Российской Федерации за 2022 год, Информационно-аналитический обзор. М.: ФКУ «НЦБДДМВДРоссии». 2023. 150 с.

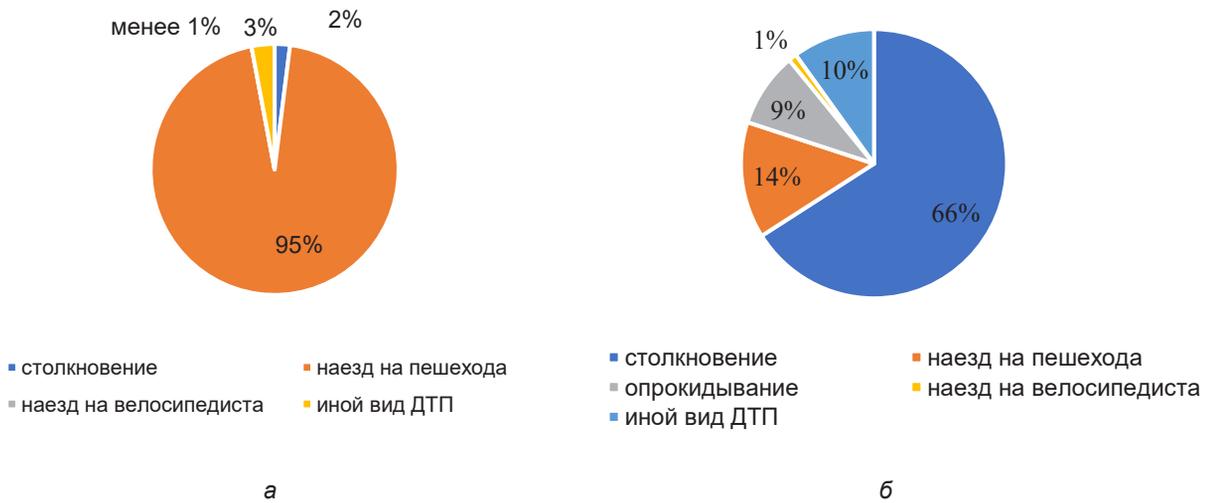


Рисунок 2 – Распределение видов ДТП с участием СИМ различной мощности [6]:  
 а – распределение ДТП по видам с участием СИМ малой мощности (менее 0,25 кВт);  
 б – распределение ДТП по видам с участием СИМ большей мощности (более 0,25 кВт и менее 4 кВт)

Figure 2 – Distribution of types of accidents involving PMDs of different capacities [6]  
 a) distribution of accidents by type with participation of lower power PMDs  
 (more than 0.25 kW and less than 4 kW)

В свою очередь СИМ большей мощности, способные развивать более высокие скорости для движения, в большинстве случаев используют для движения проезжую часть, предназначенную для движения автомобилей, чем и объясняется высокий процент такого вида происшествий как «столкновение» (рисунок 2, б).

Помимо представленных данных, в результате обработки статистических показателей определено процентное распределение ДТП с участием СИМ в зависимости от объекта улично-дорожной сети, на котором было зарегистрировано происшествие (рисунок 3).

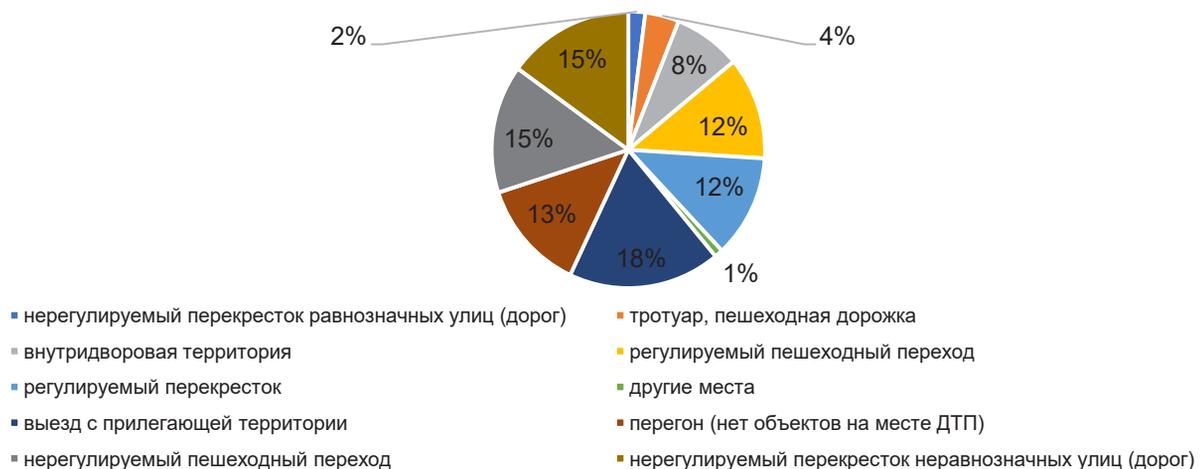


Рисунок 3 – Круговая диаграмма распределения ДТП с участием СИМ по условиям возникновения в зависимости от объекта улично-дорожной сети [6]

Figure 3 – Circle diagram of the distribution of accidents involving PMDs according to the conditions of occurrence, depending on the object of the street and road network [6]

Данные по распределению происшествий с участием СИМ свидетельствуют о необходимости ограничения скорости движения рассматриваемых устройств, с учетом безопасности городской инфраструктуры, предназначенной для движения пешеходов и автомобилей [13, 14, 15, 16]. По аналогии, как ранее разрабатывалась транспортная инфраструктура и пешеходная [17, 18, 19, 20], необходимо создание отдельной, предназначенной для передвижения средств индивидуальной мобильности. Согласно данным, представленным на рисунке 3, можно отметить, что более 10% происшествий происходит на проезжей части, тем не менее на тротуарах и пешеходных дорожках также возникают ДТП. Для водителя СИМ наибольшую опасность будет представлять движение по проезжей части ввиду высокой вероятности возникновения происшествия типа «столкновения». Высокий процент происшествий типа «наезд на пешехода» с учетом движения СИМ малой мощности свидетельствует о том, что в таком случае наибольшая вероятность возникновения происшествий и травмирования будет для пешеходов с учетом разницы скоростей в движении.

Говоря о снижении скорости движения СИМ, при условии движения их на тротуарах и на проезжей части следует осуществить исследование по условиям безопасности самой инфраструктуры. Так, в соответствии с нормативными документами как на тротуарах, так и на проезжей части возможно наличие определенных выступов, связанных в первую очередь с элементами улично-дорожной сети, такими как люки, бордюры, искусственные неровности и пр. Возвышенность данных элементов при наезде рассматриваемых устройств может привести к опрокидыванию, в таком случае необходимо выполнить анализ основных геометрических параметров данных элементов и осуществить расчет скорости движения СИМ с учетом его технических показателей. В связи с этим основная цель исследования заключается в изучении основных элементов городской инфраструктуры для расчета скоростных показателей движения СИМ. Основные задачи

исследования: 1. Анализ основных элементов городской инфраструктуры и их параметров в соответствии с требованиями нормативной документации. 2. Определение основных технических параметров СИМ с учетом анализа рынка продаж. 3. Расчет скоростных показателей движения СИМ при взаимодействии (наезде) на определенные элементы (препятствия).

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование улично-дорожной сети г. Москвы и анализ основных нормативных документов позволили определить основные типы препятствий, встречающихся на городских дорогах и городских улицах:

1. Бордюр типа БР 100.20.8 – для отделения пешеходных дорожек и тротуаров от газонов – 200 мм<sup>2</sup>.

2. Искусственная неровность – высота 7 см<sup>3</sup>.

3. Бордюр типа БЛ 300.32.68 – для отделения проезжей части улиц, дорог от тротуаров и газонов и устройства полос безопасности – 320 мм<sup>4</sup>.

4. Колея проезжей части. Согласно нормативному документу<sup>5</sup> на проезжей части возможно образование колеи, устранение которой при глубине более 5 см осуществляется при капитальном ремонте дорог и улиц.

Для единообразия рассмотренных элементов, а также возможных дефектов, установлены их основные геометрические параметры в размерной единице – метр и сведены в обобщенную таблицу 1.

Для выполнения математического расчета и определения основных скоростных характеристик движения СИМ при наезде (взаимодействии) с установленными элементами (см. таблицу 1) необходимо знать основные технические характеристики мобильных устройств. В связи с этим в рамках исследования выполнен анализ рынка продаж рассматриваемых устройств и существующих исследований в данной области [21, 22], которые позволили установить, что наиболее распространенной моделью СИМ является электросамокат Mi Electric Scooter, технические характеристики которого представлены в таблице 2.

<sup>2</sup> ГОСТ 52875–2018 Указатели тактильные наземные для инвалидов по зрению. Технические требования. М.: Стандартинформ. 28 с.

<sup>3</sup> ГОСТ 6665–91 Камни бетонные и железобетонные бортовые. Технические условия. М.: Стандартинформ. 39 с.

<sup>4</sup> ГОСТ Р 52605–2006 Технические средства организации дорожного движения. Искусственные неровности. Общие технические требования. Правила применения. М.: Стандартинформ. 16 с.

<sup>5</sup> ГОСТ Р 50597–2017 Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. Методы контроля. М.: Стандартинформ. 28 с.

Таблица 1  
**Высота основных элементов городских дорог и городских улиц, представляющих определенную опасность для движения средств индивидуальной мобильности**  
 Источник: составлено авторами.

Table 1  
**The height of the main elements of urban roads and city streets that pose a certain risk to the movement of personal mobility devices**  
 Source: compiled by the authors.

№ п/п	Наименование элемента	Допустимая максимальная возвышенность элемента над уровнем проезжей части или тротуара, $h_{\max}$ , м
1	Бордюр для отделения пешеходных дорожек	0,2 м
2	Искусственная неровность	0,07 м
3	Бордюр для отделения проезжей части	0,32 м
4	Колея проезжей части	0,05 м

Таблица 2  
**Электросамокат Mi Electric Scooter**  
 Источник: составлено авторами.

Table 2  
**Mi Electric Scooter**  
 Source: compiled by the authors.

Техническая характеристика	Показатель
Длина самоката	113 см
Высота рулевой стойки	118 см
Максимальная нагрузка	100 кг
Максимальная скорость	25 км/ч
Количество колес	2
Диаметр колеса	216 мм
Масса	14,2 кг
Размер деки (ширина платформы)	43 см
Ширина покрышки колеса	50–156 мм, в большинстве случаев 60 мм

Для обозначения основных параметров при наезде колеса электросамоката на препятствие была использована программная

среда Tinkercad, которая позволяет графически визуализировать рассматриваемый процесс (рисунок 4).

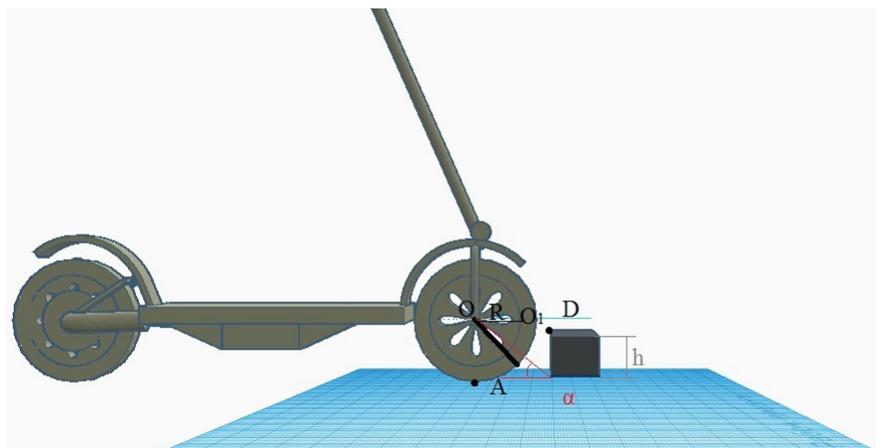


Рисунок 4 – Визуализация процесса наезда колеса самоката на препятствие в программной среде Tinkercad  
Источник: составлено авторами.

Figure 4 – Visualization of the process of scooter wheel collision on the obstacle in the Tinkercad software environment  
Source: compiled by the authors.

Движение самоката осуществляется равномерно с постоянной скоростью –  $v$ , радиус колеса самоката –  $R$ , с учетом высоты препятствия определена величина  $\varepsilon$ , которую возможно вычислить с использованием формулы

$$\varepsilon = h/R. \quad (1)$$

В результате анализа процесса наезда колеса на препятствие было установлено, что в момент столкновения колесо самоката опирается на дорогу в т. А и в дальнейшем будет соприкасаться с вершиной препятствия в т. D, высота препятствия  $h$ , тогда  $\sin$  и  $\cos$  возможно вычислить с использованием формул:

$$\sin \alpha = 1 - \varepsilon, \quad (2)$$

$$\cos \alpha = \sqrt{\varepsilon(2 - \varepsilon)}. \quad (3)$$

При взаимодействии с препятствием – ударе, колесо самоката получает обратный горизонтальный импульс, который определяется модулем отраженной скорости  $|v|$ , зависящим от коэффициента упругости –  $k$ , определяемого по формуле

$$|v| = kv, \quad (4)$$

где  $k$  находится в пределе от 0 до 1.

В результате соударения угловую скорость вращения колеса возможно определить с использованием формулы

$$\omega = [v + |v| \sin \alpha] / R. \quad (5)$$

Выполненный расчет угловой скорости позволяет определить период вращения колеса, который в данном случае будет определен с использованием формулы

$$T = 2\pi / \omega. \quad (6)$$

Для того чтобы колесо самоката преодолело препятствие, не отрываясь от него, ему надо повернуться вокруг т. D на угол  $\varphi$ , который находится по формуле

$$\varphi = \frac{\pi}{2} - \arcsin \alpha. \quad (7)$$

Это произойдет в течение времени  $t_0$ , которое возможно рассчитать с использованием формулы

$$t_0 = \frac{\varphi T}{2\pi} = \frac{\left(\frac{\pi}{2} - \arcsin \alpha\right) R^2}{[v + |v| \sin \alpha]}. \quad (8)$$

Также необходимо учесть, что ось колеса получает дополнительные перемещения по вертикали вверх и по горизонтали назад, тогда относительно т. О – точки центра оси колеса, скорость, направленная вертикально вверх, будет определена с использованием формулы

$$w_0 = |v| \sin \alpha \cos \alpha. \quad (9)$$

Горизонтальная, встречная скорость движения самоката, будет рассчитана с использованием формулы

$$u_0 = |v| \cos^2 \alpha. \tag{10}$$

Тогда за промежуток времени  $t_1$  ось колеса поднимется на высоту  $h_{\max}$  определяемых с использованием формул:

$$t_1 = \frac{w_0}{g}, \tag{11}$$

$$h_{\max} = \left[ \frac{|v|}{2g} \right] \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha, \tag{12}$$

где  $g$  – ускорение свободного падения = 9,8 м/с<sup>2</sup>.

Тогда ось колеса сместится в т.  $O_1$  – точка смещения центра оси колеса и окажется на высоте  $h_1$ , которое возможно определить с использованием формулы

$$h_1 = h + R + h_{\max}. \tag{13}$$

Таким образом, расстояние до т.  $O_1$  по горизонтали –  $x_1$  будет определено с использованием формулы

$$x_1 = R \sqrt{\varepsilon(2 - \varepsilon)} + [v - |v| \cos^2 \alpha] t_1. \tag{14}$$

В случае если  $x_1 > R$  – колесо достигнет вертикали  $O_1D$  и не упадет на препятствие, в противном случае ( $x_1 < R$ ) колесо не достигнет вертикали  $O_1D$  и упадет на препятствие.

Математическое описание рассматриваемого процесса – наезда колеса самоката на препятствие с использованием формул (1) - (14) позволяет выполнить расчет наезда на определенные элементы и возможные дефекты (см. таблицу 1) при различных скоростях движения.

**РЕЗУЛЬТАТЫ**

С учетом определенных элементов и дефектов в городской инфраструктуре, которые имеют определенную высоту и представляют своего рода препятствие для движения СИМ, выполнен расчет для каждого вида препятствия. В соответствии с таблицей 1 и с учетом характеристик определенного вида СИМ (см. таблицу 2) для диапазона скоростей движения от 5 до 25 км/ч с шагом в 1 км/ч были установлены случаи, при которых возможно опрокидывание рассматриваемого устройства.

Расчет, выполненный для первого элемента (см. таблицу 1), – бордюры для отделения пе-

шеходных дорожек (рисунок 5) позволил установить, что при движении СИМ в выбранном диапазоне скорости от 5 до 30 км/ч произойдет опрокидывание устройства, что с большой долей вероятности приведет к травмированию водителя.

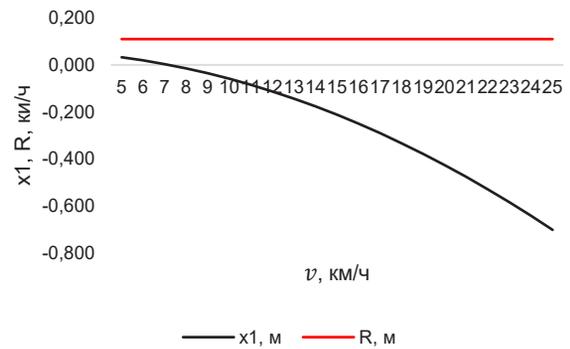


Рисунок 5 – График расчета движения СИМ с учетом наезда на бордюр для отделения пешеходных дорожек. Источник: составлено авторами.

Figure 5 – Diagram of calculation of PMD traffic taking into account collision with curb for the separation of pedestrian paths. Source: compiled by the authors.

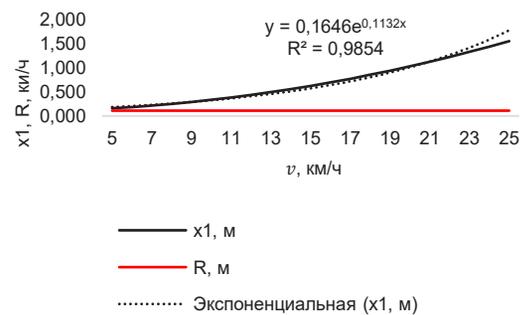


Рисунок 6 – График расчета движения СИМ с учетом наезда на искусственную неровность. Источник: составлено авторами.

Figure 6 – Diagram of calculation of the motion of the PMD, taking into account the collision with the artificial bump. Source: compiled by the authors.

Следующим элементом, который довольно часто встречается на проезжей части, вблизи муниципальных объектов – школы, детские сады, больницы и пр. являются искусственные неровности. Выполненный расчет позволил установить, что при движении со скоростью в установленном диапазоне опрокидывание рассматриваемого устройства не произойдет (рисунок 6).

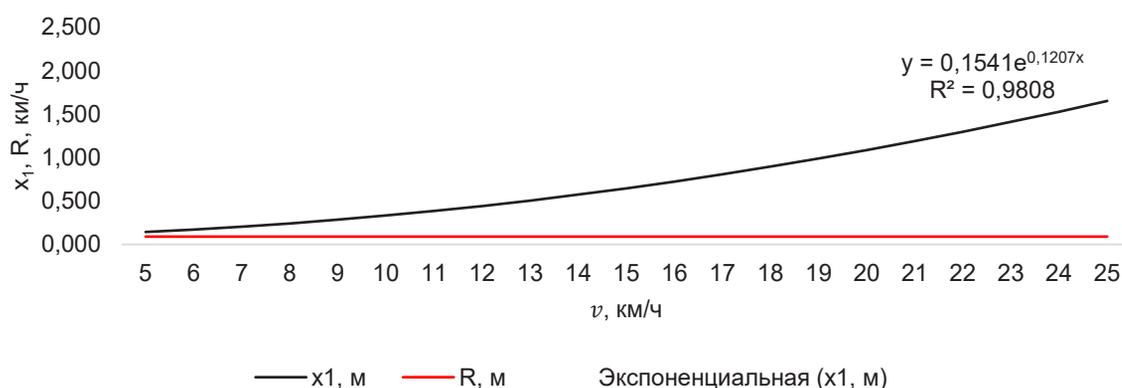


Рисунок 7 – График расчета движения СИМ с учетом дефекта – колея проезжей части  
 Источник: составлено авторами.

Figure 7 – Calculation graph of the PMD movement, taking into account the defect - the rut of the roadway  
 Source: compiled by the authors.

При расчете наезда на бордюр для отделения проезжей части высотой 32 см (см. таблицу 1), аналогично как и при расчете первого типа препятствия (см. рисунок 5), произойдет опрокидывание СИМ.

При выполнении заключительного расчета следует отметить, что согласно последним поправкам в правила дорожного движения<sup>6</sup> СИМ разрешено передвигаться по краю проезжей части, используя для движения крайнюю правую полосу. В связи с этим рассматриваемое устройство вполне может передвигаться по колею, но при выезде из нее придется преодолеть определенную высоту, что своего рода станет препятствием для движения. Основываясь на требования нормативного документа, предписывающего устранение данного дефекта при осуществлении капитального ремонта, рассматриваемая ситуация вполне характерна для городских улиц и дорог. Выполненный расчет показал, что при установленном диапазоне скоростей и принятом радиусе колеса СИМ ( $R = 0,11$  м) опрокидывание при выезде из колеи не произойдет (рисунок 7).

Следует отметить, что в результате расчета было определено, что условия опрокидывания во многом зависят от конструкции самих устройств, а именно от размеров колеса СИМ, таких его параметров как диаметр ( $D$ , м) и радиус ( $R$ , м).

С учетом установленных видов препятствий (см. таблицу 1) в результате расчетов

было определено, что опрокидывание произойдет в случае, если радиус колеса будет равен или меньше высоты самого препятствия.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что для СИМ необходимо создание отдельной инфраструктуры, что позволит обезопасить движение как с точки зрения возможного наезда рассматриваемых устройств на определенные препятствия, так и возможного столкновения с пешеходами при движении по тротуару и автомобилями при использовании проезжей части [23, 24, 25]. Помимо этого, важным аспектом является разработка требований к безопасности самих устройств, а также созданию безопасных условий для движения с учетом элементов городских улиц и дорог.

## ВЫВОДЫ

В результате анализа показателей аварийности с участием СИМ было определено, что большинство из них происходит в населенных пунктах. Распределение по видам происшествий показало, что основным видом происшествий для более мощных СИМ, оборудованных электродвигателем мощностью свыше 0,25 кВт и менее 4 кВт, является столкновение (66%). Для менее мощных СИМ, не оборудованных электродвигателем, является наезд на пешехода (95%). Полученные данные свидетельствуют о том, что СИМ передвигаются как по проезжей части, так и по тротуарам, что приводит к возникновению определенных ви-

<sup>6</sup> Постановление Правительства РФ от 23.10.1993 N 1090 (ред. от 24.10.2022) «О Правилах дорожного движения» (вместе с «Основными положениями по допуску транспортных средств к эксплуатации и обязанности должностных лиц по обеспечению безопасности дорожного движения») с изм. от 01.03.2023

дов ДТП, связанных в первую очередь со скоростью движения. Несмотря на определенные изменения в правилах дорожного движения и ограничение скорости для движения до 25 км/ч, ДТП с участием СИМ продолжают происходить. Здесь следует отметить, что одним из распространенных видов ДТП является опрокидывание, которое связано с непригодностью городских улиц и городских дорог для движения СИМ. Выполненный расчет показал, что в результате движения СИМ с допустимой скоростью движения многие элементы представляют опасность и в результате наезда происходит опрокидывание и, как следствие, травмирование водителя СИМ с различной степенью тяжести.

В результате выполненного исследования основных элементов городской инфраструктуры были определены их виды и геометрические показатели – высота (номинально допустимая возвышенность над уровнем городских улиц и дорог). Рассмотрение физического процесса наезда позволило получить ряд формул, необходимых для расчета возможности опрокидывания. Для проведения расчетов в рамках исследования была определена самая популярная модель СИМ, на основании характеристик которой был выполнен расчет возможности опрокидывания устройства. Данный расчет показал, что при наезде на бордюры, отделяющие тротуары и проезжую часть, номинальной высотой 20 и 32 см соответственно, при движении с допустимой скоростью без принятия снижения скорости или полного спешивания, произойдет опрокидывание. При взаимодействии с определенными препятствиями номинальной высотой менее 7 см опрокидывание не произойдет. Помимо этого, в результате расчета было определено, что на рассматриваемый процесс – опрокидывание, оказывают влияние геометрические показатели самого устройства, в частности радиус колеса ( $R$ ), таким образом, разрабатывая требования к безопасному передвижению СИМ необходимо создание специализированной инфраструктуры для движения, а также ограничение скорости движения с учетом геометрических показателей устройств и геометрических показателей элементов городских дорог и улиц.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Мишина Ю. В. К вопросу об участии в дорожном движении пользователей средств индивидуальной мобильности // *Правопорядок: история, теория, практика*. 2020. № 1 (24). С. 44–46.
2. Волков П. А., Кеменяш Ю. В. Средства индивидуальной мобильности: вопросы теории и практики использования // *Вестник Белгородского юридического института МВД России имени И. Д. Путилина*. 2021. № 1. С. 51–55.
3. Смирнова Ж. В., Самарский И. Р. Анализ средств индивидуальной мобильности как нового городского транспорта // *Вестник науки*. 2022. Т. 5, № 1(46). С. 173–181.
4. Юнг А. А., Шевцова А. Г. Оценка аварийности средств индивидуальной мобильности в различных условиях движения // *Современная наука*. 2021. № 2. С. 31–36.
5. Ляхов П. В., Лопарев Е. А. Аварийность с участием средств индивидуальной мобильности, оснащенных электродвигателем // *Безопасность дорожного движения*. 2022. № 1. С. 35–41.
6. Сагинова О.В. Международный опыт развития мобильности в мегаполисе // *ЭТАП: экономическая теория, анализ, практика*. 2019. № 1. С. 70–81.
7. Shevtsova A. Development of an approach to determination of coupling qualities of road covering using weather-climate factor / Shevtsova A., Novikov A. // *Journal of Applied Engineering Science*. 2021. Т. 19. № 1. С. 30–36.
8. Новиков И. А. Повышение экологичности городских агломераций путем внедрения велосипедного движения / И. А. Новиков, В. В. Васильева, А. Г. Шевцова // *Мир транспорта и технологических машин*. 2019. № 4 (67). С. 95–103.
9. Шевцова А. Г. Динамика реализации программы Vision Zero в мировых странах // *Мир транспорта и технологических машин*. 2021. № 3 (74). С. 35–42.
10. Шевцова А. Г. Математический анализ определенных показателей безопасности дорожного движения в Российской Федерации // *Вестник СибАДИ*. 2021;18(6):700–711. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-6-700-711>
11. Кравченко П. А., Олещенко Е. М. Системный подход в управлении безопасностью дорожного движения в Российской Федерации // *Транспорт Российской Федерации*. 2018. № 2 (75). С. 14–18.
12. Кравченко П. А. О проблеме «нулевой смертности» на дорогах и внедрении системных и цифровых технологий в практику предупреждения причин возникновения тяжких ДТП // *Наука и техника в дорожной отрасли*. 2018. № 4 (86). С. 1–2.
13. Донченко В. В., Купавцев В. А. Анализ основных классификационных систем средств индивидуальной мобильности // *Вестник СибАДИ*. 2021; 18 (3): 252–263. <https://doi.org/10.26518/2071-72962021-18-3-525-263>
14. Nocerino R. E-bikes and E-scooters for smart logistics: environmental and economic sustainability in pro-E-bike Italian pilots / Nocerino, R., Colorni, A.; Lia, F.; Luè, A. // *Transp. Res. Procedia* 2016, 14, 2362–2371.
15. Degele, J. Identifying E-scooter sharing customer segments using clustering / Degele, J.; Gorr, A.; Haas, K.; Kormann, D.; Krauss, S.; Lipinski, P.; Tenbih, M.; Koppenhoefer, C.; Fauser, J.; Hertweck, D. // *In Proceedings of the 2018 IEEE International*

Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC), Stuttgart, Germany, 17–20 June 2018; pp. 1–8.

16. Zagorskas J. Challenges Caused by Increased Use of E-Powered Personal Mobility Vehicles in European / Zagorskas J., Burinskiene M. // *Cities Sustainability* 2020, 12, 273

17. Кадыров Э. Т. Влияние элементов автомобильных дорог на режимы и безопасность движения транспортных средств / Э. Т. Кадыров, А. И. Бекбосынов // *Знание*. 2016. № 5-1 (34). С. 65-70.

18. Сильянов В. В. Влияние на безопасность движения ограничения скорости в зоне пересечений автомобильных дорог / В. В. Сильянов, Д. В. Оськин // *Транспорт: наука, техника, управление*. Научный информационный сборник. 2007. № 5. С. 59-61.

19. Shevtsova A., Novikov A. Development of an approach to determination of coupling qualities of road covering using weather-climate factor // *Journal of Applied Engineering Science*. 2021. Vol. 19, No. 1. P. 30-36. DOI 10.5937/jaes0-26642.

20. Novikov A., Shevtsova A., Burlutskaya A., Shekhovtsova S. Development of cycling infrastructure based on the example of urban agglomeration of Belgorod // *Transport Problems*. 2021. Vol. 16, No. 3. P. 213-222. DOI 10.21307/TP-2021-054.

21. Юнг А. А. Оценка влияния СИМ на показатели транспортного потока при совместном движении / А. А. Юнг, А. Г. Шевцова, В. В. Васильева // *Мир транспорта и технологических машин*. 2023. № 1-2 (80). С. 43-49. DOI 10.33979/2073-7432-2023-2(80)-1-43-49.

22. Юнг А. А. Моделирование процесса движения средств индивидуальной мобильности в городской среде / А. А. Юнг, А. Г. Шевцова // *Автомобиль. Дорога. Инфраструктура*. 2022. № 1(31).

23. Жанказиев С. В., Вражнова М. Н., Пашкова А. А. Концепция методики повышения безопасности дорожного движения за счет предоставления безопасного маршрута пользователям средств индивидуальной мобильности // *Мир транспорта и технологических машин*. 2023. № 1-1 (80). С. 43–49. DOI 10.33979/2073-7432-2023-1(80)-1-43-49.

24. Zhankaziev S., Zamytskih A., Vorobyev A., Gavrilyuk M., Pletnev M. Predicting traffic accidents using the conflict coefficient // *Intelligent technologies and electronic devices in vehicle and road transport complex (TIRVED)*. 2022. P. 1-6.

25. Агуреев И. Е., Ахромешин А. В. К вопросу разработки модели транспортной системы индивидуальных перемещений // *Мир транспорта и технологических машин*. 2022. №4-2 (79). С. 49–57.

## REFERENCES

1. Mishina Ju. V. K voprosu ob uchastii v dorozhnom dvizhenii pol'zovatelej sredstv individual'noj mobil'nosti [On the participation of users of means of individual mobility in road traffic]. *Pravoporjadok: istorija, teorija, praktika*. 2020; 1 (24): 44-46. (in Russ.)

2. Volkov P. A., Kemenjash Ju. V. Sredstva individual'noj mobil'nosti: voprosy teorii i praktiki ispol'zovaniya [Means of individual mobility: issues of theory and practice of use]. *Vestnik Belgorodskogo juridicheskogo instituta MVD Rossii imeni I.D. Putilina*. 2021; 1: 51-55. (in Russ.)

3. Smirnova Zh. V., Samarskij I. R. Analiz sredstv individual'noj mobil'nosti kak novogo gorodskogo transporta [Analysis of individual mobility as a new urban transport]. *Vestnik nauki*. 2022; T. 5, № 1 (46): 173-181. (in Russ.)

4. Jung A. A., Shevcova A. G. Ocenka avarijnosti sredstv individual'noj mobil'nosti v razlichnyh usloviyah dvizheniya [Assessment of accident rate of individual mobility means in different traffic conditions]. *Sovremennaja nauka*. 2021; 2: 31-36. (in Russ.)

5. Ljahov P. V., Loparev E. A. Avarijnost' s uchastiem sredstv individual'noj mobil'nosti, osnashhennyh jelektrodvigatelem [Accidents involving personal mobility devices equipped with an electric motor]. *Bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya*. 2022; 1: 35-41. (in Russ.)

6. Saginova O.V. International experience in the development of mobility in a metropolis [International experience in the development of mobility in the metropolis]. *ETAP: economic theory, analysis, practice*. 2019; No. 1: 70-81. (in Russ.)

7. Shevtsova A., Novikov A. Development of an approach to determination of coupling qualities of road covering using weather-climate factor. *Journal of Applied Engineering Science*. 2021; T. 19. no 1: 30-36.

8. Novikov, I. A., Vasil'eva V. V., Shevcova A. G. Povysenie jekologichnosti gorodskih aglomeracij putem vnedreniya velosipednogo dvizheniya [Improving the sustainability of urban agglomerations by introducing cycling]. *Mir transporta i tehnologicheskikh mashin*. 2019; 4 (67): 95-103. (in Russ.)

9. Shevcova A. G. Dinamika realizacii programmy Vision Zero v mirovyh stranah [Dynamics of Vision Zero program implementation in the world countries]. *Mir transporta i tehnologicheskikh mashin*. 2021; 3 (74): 35 – 42. (In Russ)

10. Shevtsova A.G. Mathematical analysis of certain road safety indicators in the Russian Federation. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2021;18 (6): 700-711. (In Russ.) <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-6-700-711>

11. Kravchenko P. A., Oleshchenko E. M. Sistemnyj podhod v upravlenii bezopasnost'ju dorozhnogo dvizheniya v Rossijskoj Federacii [System approach in the management of road safety in the Russian Federation]. *Transport Rossijskoj Federacii*. 2018; 2 (75): 14-18. (In Russ.)

12. Kravchenko P. A. O probleme "nulevoj smertnosti" na dorogah i vnedrenii sistemnyh i cifrovyyh tehnologij v praktiku preduprezhdeniya prichin voznikoveniya tjazhkih DTP [On the problem of "zero mortality" on the roads and the introduction of system and digital technologies in the practice of preventing causes of serious accidents]. *Nauka i tehnika v dorozhnoj otrasli*. 2018; 4 (86): 1-2. (In Russ.)

13. Donchenko V.V., Kupavtsev V.A. Main classification systems of personal mobility equipment anal-

ysis. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2021; 18 (3): 252-263. (In Russ.) <https://doi.org/10.26518/2071-72962021-18-3-525-263>

14. Nocerino R., Colorni A., Lia F., Luè A. E-bikes and E-scooters for smart logistics: environmental and economic sustainability in pro-E-bike Italian pilots. *Transp. Res. Procedia* 2016, 14, 2362-2371.

15. Degele J. Identifying E-scooter sharing customer segments using clustering / Degele, J.; Gorr, A.; Haas, K.; Kormann, D.; Krauss, S.; Lipinski, P.; Tenbih, M.; Koppenhoefer, C.; Fauser, J.; Hertweck, D. *In Proceedings of the 2018 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)*, Stuttgart, Germany, 17-20 June 2018; pp. 1-8.

16. Zagorskas J., Burinskiene M. Challenges Caused by Increased Use of E-Powered Personal Mobility Vehicles in Europe. *Cities Sustainability*. 2020; 12: 273

17. Kadyrov, Je. T., Bekbosynov, A. I. Vliyanie jelementov avtomobil'nyh dorog na rezhimy i bezopasnost' dvizheniya transportnyh sredstv [Influence of elements of highways on the modes and traffic safety of vehicles]. *Znanie*. 2016; 5-1 (34): 65-7. (in Russ.)

18. Sil'janov, V. V., Os'kin D. V. Vliyanie na bezopasnost' dvizheniya ogranicheniya skorosti v zone peresechenij avtomobil'nyh dorog [Influence on traffic safety of speed limits in the zone of intersections of highways]. *Transport: nauka, tehnika, upravlenie. Nauchnyj informacionnyj sbornik*. 2007; 5: 59-61. (in Russ.)

19. Shevtsova A., Novikov A. Development of an approach to determination of coupling qualities of road covering using weather-climate factor // *Journal of Applied Engineering Science*. 2021; Vol. 19, No. 1: 30-36. DOI 10.5937/jaes0-26642.

20. Novikov A., Shevtsova A., Burlutskaya A., Shekhovtsova S. Development of cycling infrastructure based on the example of urban agglomeration of Belgorod // *Transport Problems*. 2021; Vol. 16, No. 3: 213-222. DOI 10.21307/TP-2021-054.

21. Jung A. A., Shevcova A. G., Vasil'eva V. V. Ocenka vlijanija SIM na pokazateli transportnogo potoka pri sovmestnom dvizhenii [Evaluation of the influence of SIM on traffic flow indicators in joint traffic]. *Mir transporta i tehnologicheskikh mashin*. 2023; 1-2 (80): 43-49. DOI 10.33979/2073-7432-2023-2(80)-1-43-49. (in Russ.)

22. Jung A. A., Shevcova A. G. Modelirovanie processa dvizheniya sredstv individual'noj mobil'nosti v

gorodskoj srede [Modeling the process of movement of means of individual mobility in the urban environment]. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*. 2022; 1 (31). (in Russ.)

23. Zhankaziev S. V., Vrazhnova M. N., Pashkova A. A. Konceptcija metodiki povyshenija bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya za schet predostavleniya bezopasnogo marshruta pol'zovateljam sredstv individual'noj mobil'nosti [The concept of a methodology for improving road safety by providing a safe route to users of individual mobility devices]. *Mir transporta i tehnologicheskikh mashin*. 2023; 1-1 (80): 43-49. DOI 10.33979/2073-7432-2023-1(80)-1-43-49.

24. Zhankaziev S., Zamytskih A., Vorobyev A., Gavriyuk M., Pletnev M. Predicting traffic accidents using the conflict coefficient. *Intelligent technologies and electronic devices in vehicle and road transport complex (TIRVED)*. 2022. P. 1-6.

25. Agureev I. E., Ahromeshin A. V. K voprosu razrabotki modeli transportnoj sistemy individual'nyh peremeshhenij [On the issue of developing a model of the transport system of individual movements]. *Mir transporta i tehnologicheskikh mashin*. 2022; 4-2 (79): 49-57. (In Russ.)

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Донченко Вадим Валерианович – канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, научный руководитель, SPIN-код: 4610-4399.*

*Купавцев Владимир Анатольевич – аспирант.*

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Vadim V. Donchenko (Moscow, Russia) – Cand. of Sci., Senior researcher, Scientific director, SPIN-код: 4610-4399.*

*Vladimir A. Kupavtsev – Postgraduate student.*

## ВКЛАД СОАВТОРОВ

*Донченко В.В. Постановка цели и задачи исследования.*

*Купавцев В.А. Выполнение статистического анализа и математических расчетов.*

## COAUTHORS' CONTRIBUTION

*Vadim V. Donchenko. The goal and objectives of the study statement.*

*Vladimir A. Kupavtsev. Statistical analysis and mathematical calculations performing.*