

Научная статья
УДК 629-039-58
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2026-23-2-294-305>
EDN: OTICHR



РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ АВАРИЙНОСТИ ОБЪЕКТОВ НА ГОРОДСКОЙ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ

А.А. Юнг¹ ✉, А.Г. Шевцова¹, Д.А. Полещенко², Ю.А. Цыганков²

¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
г. Белгород, Россия

²Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал)
Национального исследовательского технологического университета «МИСИС»,
г. Старый Оскол, Россия
✉ ответственный автор
yungnastena33@gmail.com

АННОТАЦИЯ

Введение. На сегодняшний день на улично-дорожной сети (УДС) крупных городов и административных центров появился новый быстроразвивающийся вид транспорта, а именно средства индивидуальной мобильности (СИМ). Существует большое количество положительных факторов использования данных средств, таких как экологичность, маневренность, экономичность, социальная дистанцированность, гибкость маршрута и т.д. Однако из-за отсутствия адаптированной инфраструктуры для их передвижения можно наблюдать стремительный рост дорожно-транспортных происшествий (ДТП) с их участием. Для снижения количества ДТП в рамках исследования предлагается разработать математическую модель для оценки вероятности наступления аварийного события на каждом из выделенных типов объектов.

Материалы и методы. В данной статье представлены результаты математического моделирования, основанного на анализе аварийности объектов на городской улично-дорожной сети. Для достижения результатов были применены эмпирический анализ официальной статистики количества дорожно-транспортных происшествий с участием СИМ, классификационный подход, вероятностное моделирование и регрессионный прогноз. В исследовании в качестве материалов выступали данные по числу ДТП с участием СИМ на отдельных объектах улично-дорожной сети. Основной акцент сделан на количественном описании и предсказании аварийности с участием СИМ в смешанной городской среде, особенно в зонах, не предназначенных изначально для транспортных средств.

Результаты. Получена математическая модель оценки аварийности объектов городской УДС с учетом нового вида транспорта – средства индивидуальной мобильности. Адекватность и предсказательная надежность построенных моделей подтверждаются значениями коэффициента детерминации, находящимися в пределах от 0,64 до 0,92.

Обсуждение и заключение. Использование данной модели позволяет не только оценить текущий уровень аварийности на объектах УДС, но и выявить тенденции её изменения во времени. Благодаря высокой достоверности аппроксимации, модель обеспечивает надёжный прогноз количества числа ДТП с участием СИМ на различных объектах УДС.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: оценка, объект, модель, прогноз, уравнение, тенденция, мобильность, дорожное движение, средства индивидуальной мобильности

Статья поступила в редакцию 25.01.2026; одобрена после рецензирования 16.03.2026; принята к публикации 17.04.2026.

Все 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: Юнг А.А., Шевцова А.Г., Полещенко Д.А., Цыганков Ю.А. Разработка математической модели оценки аварийности объектов на городской улично-дорожной сети // Вестник СибАДИ. 2026. Т. 23, № 2. С. 294-305. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2026-23-2-294-305>

© Юнг А.А., Шевцова А.Г., Полещенко Д.А., Цыганков Ю.А., 2026



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Original article
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2026-23-2-294-305>
EDN: OTICHR

DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL FOR ASSESSING TRAFFIC ACCIDENT RISK ON URBAN ROAD NETWORKS

Anastasia A. Jung¹ ✉, Anastasia G. Shevtsova¹, Dmitry A. Poleshchenko², Yury A. Tsygankov²

¹Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov,
Belgorod, Russia

²Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (Branch)
of the National University of Science and Technology «MISiS»,
Stary Oskol, Russia

✉ corresponding author
yungnastena33@gmail.com

ABSTRACT

Introduction. Nowadays, personal mobility devices (PMDs), a new and rapidly developing mode of transport, are increasingly integrated into the urban road network (URN) of large cities and administrative centers. Numerous advantages are associated with this practice, including environmental friendliness, maneuverability, cost-effectiveness, social distancing, route flexibility, etc. However, due to the lack of infrastructure adapted for PMD movement, a sharp increase in road traffic accidents (RTAs) involving PMDs has been observed. To mitigate this negative effect, a mathematical model for assessing the probability of accident occurrence at each identified type of road network objects has been proposed in this research.

Materials and Methods. This article presents the results of mathematical modeling based on the analysis of accident rates at various objects within an urban road network. To achieve these results, the following approaches were employed: empirical analysis of official statistics on RTAs involving PMDs, a classification approach, probabilistic modeling, and regression forecasting. The primary data used in the study included the number of RTAs involving PMDs and recorded at selected URN objects. Particular emphasis was placed on quantitative description and prediction of PMD-related accident rates in mixed urban environments, especially in areas originally not designed for vehicular traffic.

Results. A mathematical model for evaluating accident risk at urban URN objects, accounting for the new transport mode – personal mobility devices – has been developed. The adequacy and predictive reliability of the constructed models are confirmed by coefficients of determination (R^2) ranging from 0.64 to 0.92.

Discussion and Conclusion. The proposed model enables not only assessments of the current accident risk at URN objects but also the identification of temporal trends in its evolution. Thanks to the high accuracy of approximation, the model provides a reliable forecast for the expected number of PMD-involved RTAs at different types of URN objects.

KEYWORDS: assessment, road network element, model, forecasting, mobility, equation, trend, personal mobility devices, road traffic, urban transportation

The article was submitted: January 25, 2026; approved after reviewing: March 16, 2026; accepted for publication: April 17, 2026.

All 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. Jung A.A., Shevtsova A.G., Poleshchenko D.A., Tsygankov Yu.A. Development of a mathematical model for assessing traffic accident risk on urban road networks. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2026; 23 (2): 294-305. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2026-23-2-294-305>

© Jung Anastasia A., Shevtsova Anastasia G., Poleshchenko Dmitry A., Tsygankov Yury A., 2026



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

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на предпринимаемые в последние годы активные меры, существенной проблемой остается безопасность населения на транспорте, которая является системной комплексной задачей на сегодняшний день [1].

С 2017 г. СИМ начали активно внедряться в транспортные процессы городской среды. В крупнейших мегаполисах России, таких как Москва, Санкт-Петербург, доля пользователей СИМ ежегодно увеличивается с нарастающей скоростью. Аналогичная тенденция наблюдается и в региональных административных центрах: местные жители всё чаще выбирают СИМ в качестве основного или вспомогательного способа передвижения, привлечённые их многочисленными преимуществами – экономией времени и финансовых ресурсов, возможностью избежать избыточных социальных контактов, а также из-за гибкости маршрута [2].

В соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 7 мая 2024 г. № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» особое внимание уделяется таким приоритетам, как устойчивое демографическое развитие и формирование комфортной, безопасной городской среды. В контексте дорожной безопасности эти задачи реализуются в рамках национального проекта «Инфраструктура для жизни», а именно через федеральный проект «Безопасность дорожного движения». Одним из ключевых направлений данного проекта выступает модернизация улично-дорожной сети за счёт внедрения современных цифровых решений, направленных на снижение аварийности и повышение уровня защищённости всех участников дорожного движения как водителей, так и пешеходов [3].

Обеспечение безопасного дорожного движения (БДД) в городах невозможно без комплексного подхода, предполагающего реализацию совокупности архитектурно-планировочных и организационных мер. Важнейшим из них является формирование благоприятной инфраструктурной среды, специально адаптированной под особенности передвижения пользователей средств индивидуальной мобильности. Это предполагает не только выделение отдельных зон или полос для их движения, но обустройство дорожной разметки и знаков, регулирующих порядок использования городского пространства СИМ, а также

обеспечение достаточной ширины тротуаров и пешеходных дорожек, позволяющей избежать конфликтов между пешеходами и пользователями микромобильности. В перспективе эффективным инструментом может стать интеграция интеллектуальных транспортных систем, обеспечивающих мониторинг потоков и оперативное управление дорожной обстановкой [4].

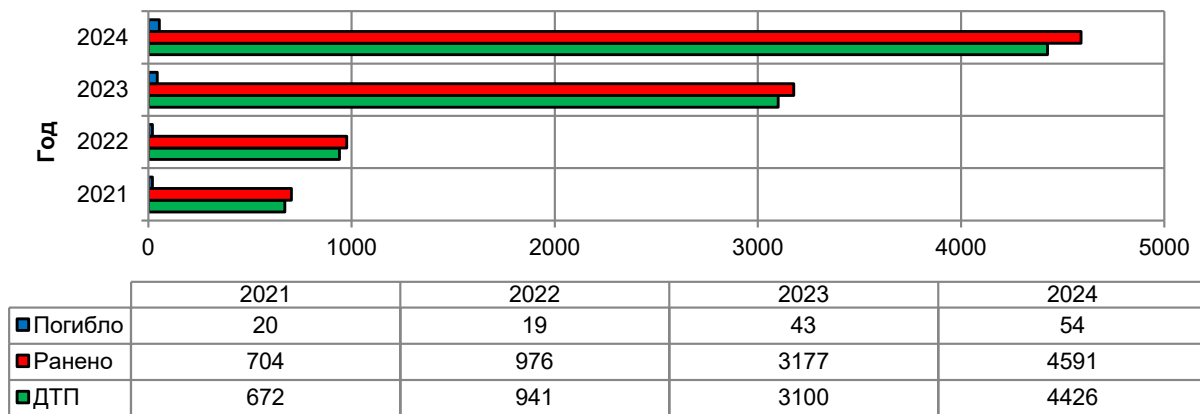
Рост числа ДТП обусловлен усилением конфликтов в городской транспортной среде, в первую очередь между пешеходами и пользователями СИМ, а также между транспортными средствами и СИМ. Такие конфликты возникают вследствие отсутствия чёткого разграничения пространства для различных участников движения, несовершенства нормативно-правового регулирования использования СИМ, а также недостаточной адаптации существующей инфраструктуры под новые формы мобильности [5].

Согласно данным официальных источников (Научный центр БДД МВД России) в 2024 г. зарегистрировано 4426 (+42,8%) ДТП с участием СИМ, в результате которых погибли 54 (+25,6%) человека, в том числе 6 детей. Ранение получили 4591 (+44,5%) человек, в числе которых 1165 детей (рисунок 1).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В ходе исследования в качестве первичной информации были задействованы данные из открытых источников, включая официальную статистику Госавтоинспекции МВД России, региональные отчёты по аварийности, а также аналитические материалы Научного центра БДД МВД России за период 2021–2024 гг. [6]. Указанные источники содержат сведения о количестве ДТП с участием СИМ, в том числе с географической привязкой к конкретным элементам УДС.

После проведения предварительной обработки и структурирования массива данных удалось идентифицировать типовые участки УДС, характеризующиеся наибольшей концентрацией ДТП с участием СИМ. Анализ показал, что такие зоны объединяет ряд общих особенностей: высокая плотность точек взаимодействия между различными участниками движения, совместное использование пространства пешеходами, традиционными транспортными средствами и пользователями СИМ, а также отсутствие инфраструктурных решений, адаптированных под специфику эксплуатации малогабаритных электрических транспортных средств [7].



Количество дорожно-транспортных происшествий, ед.
Количество раненых и погибших, чел.

■ Погибло ■ Ранено ■ ДТП

Рисунок 1 – Показатели аварийности ДТП с участием СИМ за 2021–2024 гг.
Источник: информационный аналитический обзор НЦ БДД.

Figure 1 – Road accidents involving SIM, 2021–2024 period.
Source: informational analytical review of SIC BDD.

К числу наиболее аварийно-опасных объектов УДС были отнесены: тротуары, пешеходные дорожки и зоны; межперекрестковые участки (перегоны); выезды с прилегающих территорий; регулируемые и нерегулируемые пешеходные переходы; внутриворотовые проезды; перекрестки как регулируемые, так и нерегулируемые, включая пересечения равнозначных и неравнозначных дорог; автостоянки, а также прочие элементы городской среды, не входящие в основную транспортную сеть [8].

Для построения математической модели аварийности выделены наиболее аварийные объекты УДС и их типы, каждому из которых присвоено математическое обозначение:

H_1 – доля ДТП на тротуаре, пешеходной дорожке и в пешеходной зоне;

H_2 – доля ДТП на выездах с прилегающей территории;

H_3 – доля ДТП на пешеходных переходах;

H_4 – доля ДТП на перекрестках;

H_5 – доля ДТП на иных объектах УДС.

Следует отметить, что происшествия на

пешеходных переходах и перекрестках имеют определенные разновидности, так доля ДТП на пешеходных переходах имеет следующий составной вид:

3.1 H_{31} – доля ДТП на регулируемых пешеходных переходах;

3.2 H_{32} – доля ДТП на нерегулируемых пешеходных переходах.

Аналогичным образом подразделяются ДТП на перекрестках:

4.1 H_{41} – доля ДТП на регулируемых перекрестках;

4.2 H_{42} – доля ДТП на нерегулируемых перекрестках.

Помимо этого, сложную структуру также имеют ДТП на нерегулируемых перекрестках:

4.2.1 H_{421} – доля ДТП на нерегулируемых перекрестках неравнозначных улиц (дорог);

4.2.2 H_{422} – доля ДТП на нерегулируемых перекрестках равнозначных улиц (дорог).

Схематично сложная структура исследуемых объектов УДС городской транспортной системы в системе долей имеет следующий вид (рисунок 2).

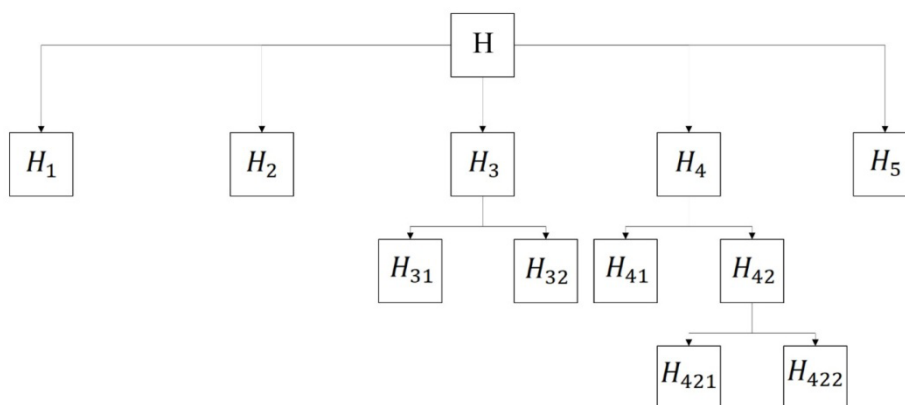


Рисунок 2 – Схема и обозначение исследуемых объектов УДС
 Источник: составлено авторами.

Figure 2 – Diagram and notation of road network elements under study
 Source: compiled by the authors.

H_1 – доля ДТП на тротуаре, пешеходной дорожке и в пешеходной зоне; H_2 – доля ДТП на выездах с прилегающей территории; H_3 – доля ДТП на пешеходных переходах: H_{31} – доля ДТП на регулируемых пешеходных переходах и H_{32} – доля ДТП на нерегулируемых пешеходных переходах; H_4 – доля ДТП на перекрестках: H_{41} – доля ДТП на регулируемых перекрестках; H_{42} – доля ДТП на нерегулируемых перекрестках; H_{421} – доля ДТП на нерегулируемых перекрестках неравнозначных улиц (дорог) и H_{422} – доля ДТП на нерегулируемых перекрестках равнозначных улиц (дорог); H_5 – доля ДТП на иных объектах УДС.

Данные, имеющиеся в официальных источниках, представлены в виде процентного распределения, что позволяет перейти к показателям статистической вероятности возникновения ДТП на определенных (принятых в работу) объектах УДС. Имеющиеся данные представлены за последние четыре года – 2021, 2022, 2023, 2024, в общем виде полная статистическая вероятность будет иметь вид:

$$P(N) = P(H_1) + P(H_2) + P(H_3) + P(H_4) + P(H_5), \quad (1)$$

где

$$P(H_3) = P(H_{31}) + P(H_{32}), \quad (2)$$

$$P(H_4) = P(H_{41}) + P(H_{42}), \quad (3)$$

$$P(H_{42}) = P(H_{421}) + P(H_{422}), \quad (4)$$

где $P(N)$ – полная статистическая вероятность; $P(H_1)$ – статистическая вероятность возникновения ДТП на тротуаре, пешеходной дорожке и в пешеходной зоне; $P(H_2)$ – статистическая вероятность возникновения ДТП на выездах с прилегающей территории; $P(H_3)$ – статистическая вероятность возникновения ДТП на пешеходных переходах; $P(H_{31})$ – статистическая вероятность возникновения ДТП на регулируемых пешеходных переходах; $P(H_{32})$ – статистическая вероятность возникновения ДТП на нерегулируемых пешеходных переходах; $P(H_4)$ – статистическая вероятность возникновения ДТП на перекрестках; $P(H_{41})$ – статистическая вероятность возникновения ДТП на регулируемых перекрестках; $P(H_{42})$ – статистическая вероятность возникновения ДТП на нерегулируемых перекрестках; $P(H_{421})$ – статистическая вероятность возникновения ДТП на нерегулируемых перекрестках неравнозначных улиц (дорог); $P(H_{422})$ – статистическая вероятность возникновения ДТП на нерегулируемых перекрестках равнозначных улиц (дорог); $P(H_5)$ – статистическая вероятность возникновения ДТП на иных объектах УДС городской транспортной системы [9].

Методологическую основу исследования составили эмпирический анализ официальной статистики ДТП с участием СИМ, классификационный подход для выделения и типологизации аварийно-опасных объектов УДС, вероятностное моделирование для формализации рисков ДТП в виде статистических вероятностей, а также иерархическое декомпозиционное моделирование для учёта сложной структуры взаимосвязанных элементов

УДС. Полученная модель позволяет оценить полную вероятность ДТП с участием СИМ как сумму вероятностей по всем выделенным категориям объектов, что обеспечивает как обобщающую, так и детализированную оценку аварийности в условиях смешанного городского движения [10].

МЕТОДОЛОГИЯ

Согласно официальным статистическим данным, представленным в виде процентного распределения ДТП по типам объектов УДС, возможно определить соответствующие значения статистической вероятности наступления аварийных событий [11]. Для демонстрации методики оценки была выбрана категория «тротуар, пешеходная дорожка, пешеходная зона» – один из наиболее характерных элементов городской инфраструктуры, активно используемых пользователями СИМ.

Анализ динамики статистической вероятности данного события за четырёхлетний период (2021–2024 гг.) выявил значительные изменения (таблица 1). В первые два года наблюдений (2021–2022 гг.) вероятность не превышала 0,05, однако в последующие периоды (2023–2024 гг.) зафиксирован резкий рост показателя. Такая тенденция свидетельствует о заметном увеличении числа ДТП с участием СИМ именно в пешеходной зоне, что, в свою очередь, подчеркивает необходимость адаптации инфраструктуры и усиления мер по обеспечению безопасности смешанного движения [12].

Регрессионный анализ статистической вероятности позволил установить наиболее точный вид функции, описывающий распределение исследуемых значений (рисунок 3, таблица 2).

Таблица 1
Изменение статистической вероятности объекта УДС в городской транспортной системе «тротуар, пешеходная дорожка, пешеходная зона» – $P(H_1)$
Источник: составлено авторами.

Table 1
Changes in the statistical probability of the urban road network element Sidewalk, Pedestrian Path, Pedestrian Zone» – $P(H_1)$
Source: compiled by the authors.

Номер периода	1	2	3	4
Значение	0,05	0,04	0,26	0,38

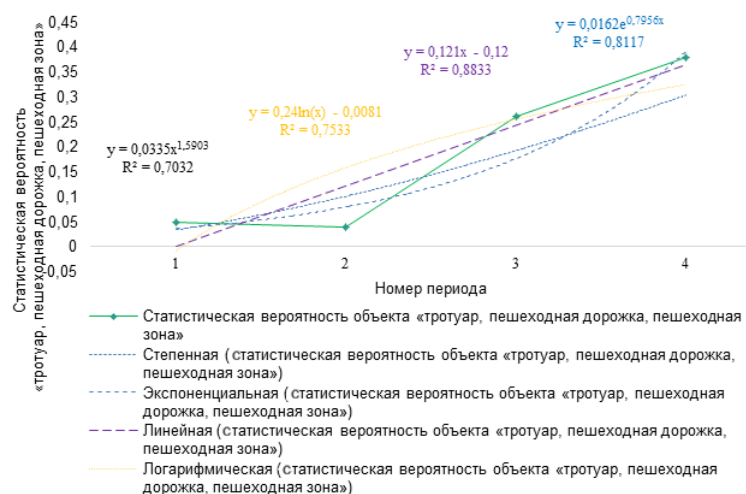


Рисунок 3 – Графический регрессионный анализ объекта УДС транспортной системы города «тротуар, пешеходная дорожка, пешеходная зона» – $P(H_1)$
Источник: составлено авторами.

Figure 3 – Graphical regression analysis of the urban road network element Sidewalk, Pedestrian Path, Pedestrian Zone – $P(H_1)$
Source: compiled by the authors.

Таблица 2

Уравнения регрессии и значение величины достоверности в результате анализа объекта УДС транспортной системы города «тротуар, пешеходная дорожка, пешеходная зона» – $P(H_1)$
 Источник: составлено авторами.

Table 2

Regression equations and coefficient of determination (R^2) resulting from the analysis of the urban road network element Sidewalk, Pedestrian Path, Pedestrian Zone» – $P(H_1)$
 Source: compiled by the authors.

Наименование функции	Вид функциональной зависимости	Величина достоверности, R^2
Степенная	$y=0,0335 \cdot x^{1,5903}$	0,92
Экспоненциальная	$y=0,0162 \cdot e^{0,7956 \cdot x}$	0,9
Линейная	$y=0,121 \cdot x - 0,12$	0,88
Логарифмическая	$y=0,24 \ln(x) - 0,0081$	0,75

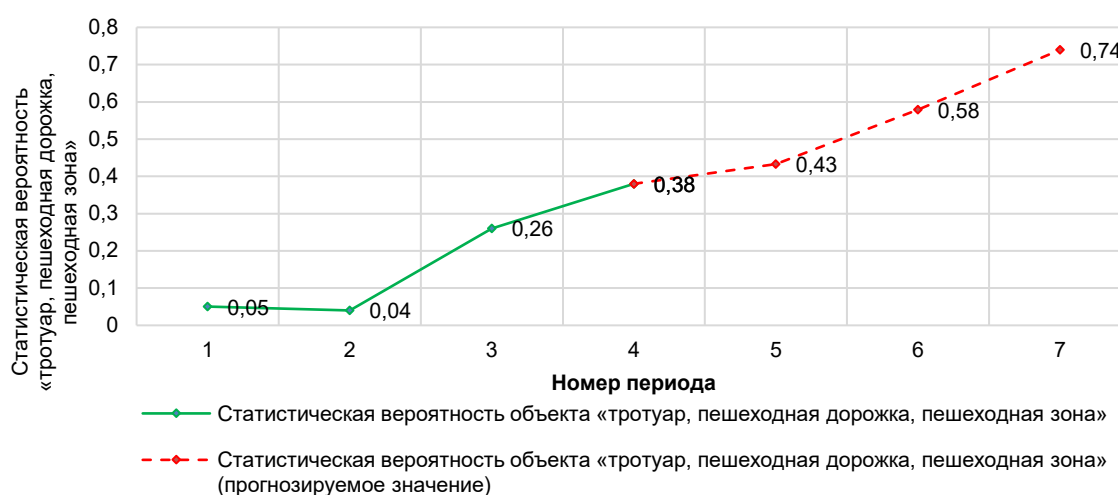


Рисунок 4 – Прогнозируемые значения изменения статистической вероятности $P(H_1)$ на объекте УДС транспортной системы города «тротуар, пешеходная дорожка, пешеходная зона»
 Источник: составлено авторами.

Figure 4 – Forecasted values of changes in statistical probability $P(H_1)$ for the urban road network element Sidewalk, Pedestrian Path, Pedestrian Zone – $P(H_1)$
 Source: compiled by the authors.

Наиболее точно рассматриваемые данные описываются степенной функцией вида:

$$y = 0,0335 \cdot x^{1,5903}, \quad (5)$$

где y – доля ДТП на объекте «тротуар, пешеходная дорожка, пешеходная зона»; x – номер периода, соответствующий рассматриваемому году.

Полученное уравнение позволяет осуществить прогнозирование изменения доли ДТП для 5, 6 и 7-го периодов, соответствующих значениям 2025, 2026 и 2027 гг. (рисунок 4).

На основе проведённого регрессионного анализа было получено уравнение, описывающее динамику статистической вероятности в виде степенной функции. С его помощью выполнен прогноз изменения исследуемо-

го показателя на ближайшие три временных периода 2025–2027 гг. Результаты моделирования свидетельствуют о продолжающемся росте вероятности наступления ДТП на объектах типа «тротуар, пешеходная дорожка, пешеходная зона», что указывает на устойчивую тенденцию к увеличению аварийности в этих зонах [13].

Аналогичный статистический анализ был последовательно применён ко всем выделенным типам объектов улично-дорожной сети. Это позволило не только количественно оценить текущий уровень риска, но и сформировать прогнозные значения вероятностей возникновения ДТП с участием средств индивидуальной мобильности по каждому из рассматриваемых элементов инфраструктуры [14].

РЕЗУЛЬТАТЫ

В общем виде математическая модель оценки аварийности объектов городской УДС с учетом нового вида транспорта – СИМ, будет иметь вид

$$P(H) = \begin{cases} P(H_1) \\ P(H_2) \\ P(H_3) \\ P(H_4) \\ P(H_5) \end{cases} = \begin{cases} y = 0,0335 \cdot x^{1,5903} \\ y = -0,02 \cdot x + 0,195 \\ y = -0,0425 \cdot x^2 + 0,1975 \cdot x + 0,0825 \\ y = -0,039 \cdot x + 0,33 \\ y = 0,2691 \cdot x^{-0,608} \end{cases} \quad (6)$$

Полученные уравнения функций позволяют оценить аварийность рассматриваемых объектов на городской УДС, что позволяет спрогнозировать вероятность наступления ДТП (таблица 3).

Наиболее высокий уровень аварийности в прогнозируемом периоде (2025–2027 гг.) жи-

дается на тротуарах, пешеходных дорожках и в пешеходных зонах: вероятность возникновения ДТП с участием СИМ варьируется от 0,43 до 0,74 при устойчивой тенденции к росту. Такая динамика может быть обусловлена ростом пешеходного трафика, физическим износом инфраструктуры или недостаточной адаптацией городской среды под новые формы мобильности, включая отсутствие специализированных элементов безопасности [14, 15].

В то же время наблюдается снижение аварийности на выездах с прилегающих территорий – с 0,095 до 0,055. Вероятно, это связано с улучшением организации движения в этих зонах, установкой дополнительных знаков, ограничений скорости или активным контролем со стороны надзорных органов.

Аналогичная положительная динамика отмечена на нерегулируемых пешеходных переходах: вероятность ДТП снижается с 0,095 до 0,071. Несмотря на улучшение, данный показатель остаётся относительно высоким, что указывает на необходимость дальнейших мер по повышению их безопасности [16].

Таблица 3
Результаты математического расчета
Источник: составлено авторами.

Table 3
Results of mathematical calculation
Source: compiled by the authors.

№ п/п	Наименование объекта УДС	Полученное уравнение функции	Величина достоверности,
1	Тротуар, пешеходная дорожка, пешеходная зона	$y=0,0335 \cdot x^{1,5903}$	0,92
2	Выезд с прилегающей территории	$y=-0,02 \cdot x+0,195$	0,69
3	Пешеходный переход	$y=-0,0425 \cdot x^2+0,1975 \cdot x+0,0825$	0,73
3.1	Регулируемый пешеходный переход	$y=-0,0325 \cdot x^2+0,1595 \cdot x-0,0225$	0,47
3.2	Нерегулируемый пешеходный переход	$y=-0,012 \cdot x+0,155$	0,55
4	Перекресток	$y=-0,039 \cdot x+0,33$	0,79
4.1	Регулируемый перекресток	$y=-0,017 \cdot x+0,145$	0,86
4.2	Нерегулируемый перекресток	$y=-0,022 \cdot x+0,185$	0,64
4.2.1	Нерегулируемый перекресток неравнозначных улиц (дорог)	$y=-0,018 \cdot x+0,16$	0,6
4.2.2	Нерегулируемый перекресток равнозначных улиц (дорог)	$y=0,0283 \cdot e^{-0,277 \cdot x}$	0,78
5	Иные	$y=0,2691 \cdot x^{-0,608}$	0,65

Общая аварийность на перекрёстках демонстрирует чёткую тенденцию к снижению – с 0,135 до 0,057. Наиболее выраженный эффект зафиксирован как на регулируемых перекрёстках (снижение с 0,060 до 0,026), так и на нерегулируемых (с 0,075 до 0,031). Это может свидетельствовать об эффективности комплексных мер: применения светофорного регулирования, установки дорожных знаков, разметки, а также усиления контроля за соблюдением ПДД [17].

Особо низкие значения прогнозируются для нерегулируемых перекрёстков равнозначных улиц – от 0,005 до 0,001. Столь малая вероятность ДТП может объясняться как низкой интенсивностью движения в этих зонах, так и хорошей обзорностью, способствующей своевременному реагированию участников движения [18].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе оценки аварийности на объектах УДС с учётом участия СИМ была разработана иерархическая (древовидная) структура, отражающая вероятностное распределение дорожно-транспортных происшествий по типам транспортной инфраструктуры. В качестве наиболее уязвимых зон были выделены: тротуары, пешеходные дорожки и пешеходные зоны; регулируемые и нерегулируемые пешеходные переходы; выезды с прилегающих территорий; перекрёстки различных категорий, включая регулируемые, нерегулируемые неравнозначные и нерегулируемые равнозначные дороги, а также прочие элементы УДС, характеризующиеся интенсивным смешанным движением [19].

На основе анализа официальной статистики и пространственной локализации ДТП были выполнены математические расчёты, позволившие сформировать регрессионные уравнения для оценки вероятности аварийного события на каждом из выделенных типов объектов. Адекватность и прогностическая надёжность полученных моделей подтверждены значениями коэффициента детерминации, находящимися в диапазоне от 0,64 до 0,92. Такой уровень соответствия эмпирических данных теоретическим оценкам свидетельствует о высокой точности и практической применимости разработанных моделей [20].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Шевцова А.Г. Динамика реализации программы VISION ZERO в мировых странах // Мир транспорта и технологических машин. 2021. № 3 (74). С. 35–42. DOI: 10.33979/2073-7432-2021-74-3-35-42
2. Семикопенко Ю.В., Шевцова А.Г., Дмитриев Д.В., Бахарев Г.А. Основные виды дорожно-транспортных происшествий в Российской Федерации // Успехи современной науки и образования. 2016. Т. 5, № 7. С. 76–79.
3. Новиков А.Н., Еремин С.В., Шевцова А.Г. Пути повышения безопасности функционирования общественного транспорта в условиях перспективного развития города // Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, 2023. 239 с. ISBN 978-5-361-01180-3.
4. Купавцев В.А., Донченко В.В. Разработка модели оценки риска наезда средства индивидуальной мобильности на пешехода // Вестник МГУ. Серия 6: Экономика. 2025. № 3. С. 45–58.
5. Юнг А.А., Шевцова А.Г., Васильева В.В., Долиненко А.А. Разработка математической модели прогнозирования аварийности с участием средств индивидуальной мобильности // Мир транспорта и технологических машин. 2025. № 1–3 (88). С. 90–96.
6. Докукин В.М., Цыганков Ю.А. Сравнительный анализ эффективности методов линейной регрессии для решения задачи прогнозирования значений временного ряда // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство : материалы XX Всерос. науч.-практ. конф. 2024. С. 396–401.
7. OECD/ITF. Micromobility Safety: Managing the Integration of E-Scooters and Other Devices into Urban Transport Systems. Paris : International Transport Forum, . 2024. № 1–5 (54). С. 81–85.
8. Купавцев В.А., Донченко В.В. Определение основных препятствий городских дорог и городских улиц при движении средств индивидуальной мобильности // Транспорт и логистика: Развитие в условиях глобальных изменений потоков : сб. науч. тр. VII Междунар. науч.-практ. конф. Ростов-на-Дону, 2023. С. 184–187.
9. Zhang Y., Wang J, Chen X. Crash risk analysis of e-scooter riders in urban environments using mixed logit models // Accident Analysis & Prevention. 2021. Vol. 159. P. 106253. DOI: 10.1016/j.aap.2021.106253
10. Юнг А.А. Разработка математической модели прогнозирования количества дорожно-транспортных происшествий с участием средств индивидуальной мобильности // Вестник СибАДИ. 2025. Т. 22, № 1 (101). С. 112–122.
11. Юнг А.А., Трошин А.С., Ван Я., Романенко А.О. Оценка скоростных особенностей движения средств индивидуальной мобильности при интеллектуализации городских транспортных систем // Мир транспорта и технологических машин. 2024. № 4-2 (87). С. 135–140.
12. Козлов В.И. Применение регрессионных моделей для прогнозирования ДТП с участием СИМ // Информационные технологии в транспортной системе. 2023. № 3. С. 62–70.
13. Litman T. Evaluating Micromobility Impacts and Best Practices // Transport Policy Institute. 2023. № 1–6 (14). С. 79–85.

14. Смирнов Н.Н., Петров И.О. Безопасность смешанного движения в условиях роста популярности СИМ // *Городские технологии*. 2024. № 1. С. 22–30.
15. Шелмаков П.С., Шелмаков С.В. Развитие велосипедного движения в Российской Федерации // *Успехи современного естествознания*. 2012. № 6. С. 183–184.
16. Соиников С.А. Особенности определения административно-правового статуса участников дорожного движения, использующих современные технические средства передвижения (средства индивидуальной мобильности) // *Вестник экономической безопасности*. 2020. № 1. С. 216–219.
17. Волков П.А., Кемьяш Ю.В. Средства индивидуальной мобильности: вопросы теории и практики использования // *Вестник Белгородского юридического института МВД России им. И. Д. Путилина*. 2021. № 1. С. 51–55.
18. Мишина Ю.В. Проблемы определения административно-правового статуса лиц, использующих для передвижения электросамокаты, сегвеи и иные современные технические средства // *Проблемы экономики и юридической практики*. 2020. № 4. С. 321–325.
19. Smith J.A., Patel R.K, Chen L.M. A machine learning approach to urban traffic congestion prediction // *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2021. Vol. 124. P. 102987. DOI: 10.1016/j.trc.2021.102987
20. Trofimenko Y.V., Komkov V.I., Potapchenko T.D, Donchenko V.V. Model for the assessment greenhouse gas emissions from road transport // *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*. 2019. Vol. 7, No 1. P. 465–473.
6. Dokukin V.M., Tsygankov Yu.A. Comparative Analysis of Linear Regression Methods for Time Series Forecasting. *Modern Problems of the Mining and Metallurgical Complex. Science and Production: Proceedings of the XX All-Russian Scientific and Practical Conference*. 2024. P. 396–401. (In Russ.)
7. OECD/ITF. *Micromobility Safety: Managing the Integration of E-Scooters and Other Devices into Urban Transport Systems*. Paris: International Transport Forum, 2024. P. 81–85.
8. Kupavtsev V.A., Donchenko V.V. Identification of Key Obstacles on Urban Roads and Streets for Micromobility Device Users // *Transport and Logistics: Development under Global Changes in Flows: Collection of Scientific Papers of the VII International Scientific and Practical Conference*. Rostov-on-Don, 2023. P. 184–187. (In Russ.)
9. Zhang Y., Wang J., Chen X. Crash Risk Analysis of E-Scooter Riders in Urban Environments Using Mixed Logit Models. *Accident Analysis & Prevention*. 2021. Vol. 159. P. 106253. DOI: 10.1016/j.aap.2021.106253
10. Yung A.A. Development of a Mathematical Model for Forecasting the Number of Road Traffic Accidents Involving Micromobility Devices. *Bulletin of the Siberian State Automobile and Highway University*. 2025. Vol. 22, No. 1 (101). P. 112–122. (In Russ.)
11. Yung A.A., Troshin A.S., Van Ya., Romanenko A.O. Assessment of Speed Characteristics of Micromobility Devices in Intelligent Urban Transport Systems. *World of Transport and Technological Machines*. 2024. No. 4-2 (87). P. 135–140. (In Russ.)
12. Kozlov V.I. Application of Regression Models for Forecasting Road Accidents Involving Micromobility Devices. *Information Technologies in Transport Systems*. 2023. No. 3. P. 62–70. (In Russ.)
13. Litman T. Evaluating Micromobility Impacts and Best Practices. *Transport Policy Institute*. 2023. P. 79–85.
14. Смирнов Н.Н., Петров И.О. Safety of Mixed Traffic under Growing Popularity of Micromobility Devices. *Urban Technologies*. 2024. No. 1. P. 22–30. (In Russ.)
15. Shelmakov P.S., Shelmakov S.V. Development of Cycling in the Russian Federation. *Advances in Modern Natural Science*. 2012. No. 6. P. 183–184. (In Russ.)
16. Соиников С.А. Peculiarities of Determining the Administrative and Legal Status of Road Users Employing Modern Personal Mobility Devices (Micromobility). *Bulletin of Economic Security*. 2020. No. 1. P. 216–219. (In Russ.)
17. Volkov P.A., Kemyash Yu.V. Micromobility Devices: Theoretical and Practical Aspects of Use. *Bulletin of the Belgorod Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia named after I. D. Putilin*. 2021. No. 1. P. 51–55. (In Russ.)
18. Mishina Yu.V. Issues Concerning the Administrative and Legal Status of Individuals Using Electric Scooters, Segways, and Other Modern Personal Mobility Devices. *Problems of Economics and Legal Practice*. 2020. No. 4. P. 321–325. (In Russ.)

REFERENCES

19. Smith J.A., Patel R.K., Chen L.M. A Machine Learning Approach to Urban Traffic Congestion Prediction. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2021. Vol. 124. P. 102987. DOI: 10.1016/j.trc.2021.102987

20. Trofimenko Y.V., Komkov V.I., Potapchenko T.D., Donchenko V.V. Model for the Assessment of Greenhouse Gas Emissions from Road Transport. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*. 2019. Vol. 7, No. 1. P. 465–473.

ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД СОАВТОРОВ

Юнг А.А. Постановка задачи исследования, разработка концепции математической модели, сбор и предварительная обработка данных об аварийности на улично-дорожной сети, выполнение вычислительных экспериментов, оформление основного текста статьи.

Шевцова А.Г. Разработка методологической основы исследования, участие в проектировании структуры модели, анализ результатов моделирования, интерпретация полученных зависимостей, формулировка выводов, общее редактирование и доработка статьи.

Полещенко Д.А. Подготовка геоинформационных данных и характеристик дорожной инфраструктуры, интеграция пространственных данных в модель, визуализация результатов, участие в анализе и обсуждении выводов, редактирование разделов, связанных с данными и картографическим представлением.

Цыганков Ю.А. Разработка алгоритмической части модели, реализация регрессионного и машинного обучения компонентов, оценка точности и устойчивости модели, статистическая валидация результатов, участие в написании методологической части статьи.

COAUTHORS' CONTRIBUTION

Yung A.A. Conceptualization of the research problem, development of the mathematical model concept, collecting and initial processing of road traffic accident data on the urban street network, conducting computational experiments, and drafting the main text of the manuscript.

Shevtsova A.G. Development of the methodological framework, contribution to the design of the model architecture, analysis of simulation results, interpretation of identified relationships, formulation of conclusions, and overall editing and revision of the manuscript.

Poleshchenko D.A. Preparation of geospatial data and road infrastructure characteristics, integration of spatial datasets into the model, visualization of results, participation in the analysis and discussion of findings, and editing of sections related to data processing and cartographic representation.

Tsygankov Yu.A. Development of the algorithmic component of the model, implementation of regression and machine learning modules, evaluation of model accuracy and robustness, statistical validation of results, and contribution to writing the methodology section of the manuscript.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Юнг Анастасия Алексеевна – канд. техн. наук, аспирант кафедры «Эксплуатация и организация движения автотранспорта» Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0691-1393>,

SPIN-код: 8392-4329,

e-mail: yungnastena33@gmail.com

Шевцова Анастасия Геннадьевна – д-р техн. наук, директор института дополнительного образования и профессионального обучения «Высшая технологическая школа» Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8973-9271>,

SPIN-код: 1326-7713,

e-mail: shevcova-anastasiya@mail.ru

Полещенко Дмитрий Александрович – канд. техн. наук, доц., декан факультета «Автоматизация и информационные технологии» Старооскольского технологического института им. А.А. Угарова (филиал) Национального исследовательского технологического университета «МИСИС» (309516, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3544-4296>,

SPIN-код: 6145-1391,

e-mail: po-dima@yandex.ru

Цыганков Юрий Александрович – канд. техн. наук, и.о. заведующего кафедрой «Автоматизированные и информационные системы управления» Старооскольского технологического института им. А.А. Угарова (филиал) Национального исследовательского технологического университета «МИСИС» (309516, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3001-8362>,

SPIN-код: 5586-2938,

e-mail: TsY-18@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Jung Anastasia A. – Cand. of Sci. (Engineering), PhD student, Department of Automotive Transport Operation and Organization, V.G. Shukhov Belgorod State Technological University (46 Kostyukova Street, Belgorod, 308012).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0691-1393>,

SPIN-code: 8392-4329,

e-mail: yungnastena33@gmail.com

Shevtsova Anastasia G. – Dr. of Sci. (Engineering), Director of the Institute of Continuing Education and Professional Training “Higher Technological School” of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (46 Kostyukova Street, Belgorod, 308012).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8973-9271>,

SPIN-code: 1326-7713,

e-mail: shevcova-anastasiya@mail.ru

Poleshchenko Dmitry A. – Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Dean of the Faculty of Automation and Information Technologies, A.A. Ugarov Sary Oskol Technological Institute (Branch) of the National University of Science and Technology “MISiS” (42 Makarenko Microdistrict, Sary Oskol, 309516).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3544-4296>,

SPIN- code: 6145-1391,

e-mail: po-dima@yandex.ru

Tsygankov Yury A. – Cand. of Sci. (Engineering), Head of the Department of Automated and Information Management Systems, A.A. Ugarov Sary Oskol Technological Institute (Branch) of the National University of Science and Technology “MISiS” (42 Makarenko Microdistrict, Sary Oskol, 309516).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3001-8362>,

SPIN- code: 5586-2938,

e-mail: TsY-18@yandex.ru