Научная статья
УДК 656.13.02

Категоризация участков скоростных автомобильных дорог для моделирования конфликтности

Султан Владимирович Жанказиев[1], Виталий Витальевич Дронсейко[2], Донец Николай Андреевич[3]

[1,2,3]Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия

[1]sultanv@mail.ru
[2]drons123@yandex.ru
[3]dr.donetz@yandex.ru

Аннотация. В работе проводится анализ необходимости категоризации участков скоростных дорог для целей прогнозирования безопасности дорожного движения, моделирования конфликтности и использования в подсистемах интеллектуальных транспортных систем. В исследовании выделены 5 типов участков: перегон, зона слияния, зона отклонения, зона последовательного слияния, зона последовательного отклонения, зона после отклонения до слияния. Для каждого из типов определены длины зон влияния. Расчеты произведены 3 различными способами – исходя из расстояния информирования водителя, длины зоны переходно-скоростной полосы, а также с помощью расчета длины набора/снижения скорости и расстояния перестроения. Представленная классификация может быть применена для любой скоростной дороги, однако при наличии данных рекомендуется произвести перерасчет длины зон влияния исходя из значений рассматриваемого участка. Планируется дальнейшее использование результатов исследования для классификации участков улично-дорожной сети, их анализа, прогнозирование конфликтности согласно представленных типов и внедрение этой информации в интеллектуальные транспортные системы, для снижения вероятности возникновения дорожно-транспортного происшествия.

Ключевые слова: улично-дорожная сеть, безопасность дорожного движения, переходно-скоростная полоса, моделирование конфликтности, интеллектуальные транспортные системы.

Для цитирования: Жанказиев С.В., Дронсейко В.В., Донец Н.А. Категоризация участков скоростных автомобильных дорог для моделирования конфликтности // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2025. № 2 (44).

Original article

Categorization of sections of high-speed highways for conflict modeling

Sultan V. Zhankaziev[1], Vitaly V. Dronseiko[2], Nickolay A. Donets[3]

[1,2,3]Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia

[1]sultanv@mail.ru
[2]drons123@yandex.ru
[3]dr.donetz@yandex.ru

Abstract. The paper analyzes the necessity of categorization of expressway sections for the purposes of traffic safety prediction, conflict modeling and use in subsystems of intelligent transportation systems. The study identifies 5 types of sections: interchange, merge zone, deviation zone, consecutive merge zone, consecutive deviation zone, post-deviation zone before merge. The lengths of influence zones were determined for each type. The calculations were done in 3 different ways - based on driver information distance, the length of the transition speed lane zone, and by calculating the length of the speed gain/decrease and the realignment distance. The presented classification can be applied to any expressway, but if data are available, it is recommended to recalculate the length of influence zones based on the values of the section under consideration. It is planned to further use the results of the study for classification of street-road network sections, their analysis, prediction of conflict according to the presented types and implementation of this information in intelligent transportation systems to reduce the probability of traffic accidents.

Keywords: street-road network, road safety, transition-speed lane, conflict modeling, intelligent transport systems.

For citation: Zhankaziev S.V., Dronseiko V.V., Donets N.A. Categorization of sections of high-speed highways for conflict modeling. Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura. 2025. № 2 (44).

Введение

Ключевым принципом в обеспечении безопасности дорожного движения является прогнозирование возможного возникновения ДТП с целью устранения или нивелирования его предиктивных факторов. Методологически в этом смысле можно использовать различные математические подходы, позволяющие установить аспекты, относящиеся к совокупности предпосылок, формирующих нештатную дорожную ситуацию. Одним из таких подходов является использование теории вероятностей и математической статистики.

Однако, когда речь идёт об определении геометрических параметров установленного участка конфликтности конкретного типа дороги, то здесь также могут быть применены классические принципы зависимости пути от скорости и времени. В частности, на скоростных магистралях данные участки могут быть дифференцированы в зависимости от статических факторов – таких, например, как тип ОДД. Теоретически потенциальная конфликтность в этом случае устанавливается в местах отсутствия переходно-скоростных полос, где маневры отклонения (выезда с основной трассы) и слияния (въезда на основную трассу) требуют особого внимания со стороны водителей и инженеров-проектировщиков. Проблема определения длины участка влияния данных маневров становится особенно значимой с учетом роста автомобильных потоков и увеличения скоростей движения.

Материалы и методы

Для создания научной гипотезы использовались математические методы, описывающие характеристики кинематического движения транспортного средства в пространстве с учётом нелинейности и неравномерности движения, включая экспоненциальный закон набора скорости. Также была проведена верификация полученных данных в соответствии с существующей на данный момент нормативной документацией.

Научная гипотеза

При анализе и моделировании конфликтности с целью прогноза потенциального опасного участка на скоростных автомобильных дорогах для начала требуется установить границы исследуемой зоны. Рассмотрение всей дороги в целом не репрезентативно ввиду локального характера влияния большого числа факторов. Подход по анализу каждого конкретного ДТП на дороге крайне трудозатратен с учетом бесконечного множества объектов исследования, поэтому наиболее целесообразным представляется

типологический подход разделения участков исследуемой дороги по условным критериям, которые в данном случае представляют собой различные сочетания манёвров транспортного средства в зависимости от практических характеристик дорожной инфраструктуры:

1. Перегон – участок дороги, характеризующийся движением транспортных средств в одном направлении с однородными параметрами, такими как количество полос, скорость движения и перестроения, связанные преимущественно с обгоном впереди идущих транспортных средств. К данной категории также относятся участки, расположенные после зон отклонения и до зон слияния.

2. Зона после слияния до отклонения (зона ножниц) – участок дороги, на котором суммируется влияние встраивающегося потока транспортных средств и потока, съезжающего с автодороги. Данный тип участков характерен для сложных развязок, таких как клеверные.

3. Зона до отклонения – участок дороги, на котором наблюдаются интенсивные перестроения транспортных средств, преимущественно связанные с подготовкой к съезду с автодороги.

4. Зона после слияния – участок дороги, на котором транспортные средства, въезжающие с прилегающей дорожной сети, интегрируются в основной поток скоростной автодороги. Данный участок может быть оборудован переходно-скоростной полосой.

5. Зона последовательного слияния – участок дороги, характеризующийся наличием нескольких последовательных примыканий, предназначенных для въезда на автодорогу. Взаимное влияние этих примыканий приводит к конфликтам между транспортными средствами, въезжающими с разных направлений, а также к их интеграции в основной поток. Участок может быть оснащен переходно-скоростными полосами.

6. Зона последовательного отклонения - участок дороги, на котором расположены несколько последовательных примыканий для съезда с автодороги. Взаимное влияние этих примыканий приводит к интенсивным перестроениям транспортных средств, стремящихся занять соответствующую полосу для съезда. Участок может быть оборудован переходно-скоростными полосами.

Необходимо отметить, что тип участка напрямую зависит от его протяженности. Например, если расстояние между зоной въезда на скоростную дорогу и зоной съезда составляет менее 100 метров, наблюдается значительное взаимное влияние этих манёвров друг на друга. В то же время, при расстоянии между ними, превышающем 10 километров, влияние въезда на съезд становится минимальным. Таким образом, для корректной типологии требуется четкое и обоснованное определение длины зоны влияния манёвров, что позволит отнести участок к соответствующей категории.

Кроме того, важно учитывать, что даже при наличии переходно-скоростной полосы процессы разгона транспортных средств до скорости общего потока или перестроения для встраивания в него могут выходить за пределы данной полосы. Следовательно, фактическая протяженность зоны влияния манёвров слияния и отклонения может превышать длину переходно-скоростной полосы. В связи с этим предлагается использовать в качестве основного критерия длину зоны влияния.

Математическая модель

Настоящий расчет будет произведен для скоростной дороги на примере Московской Кольцевой Автомобильной Дороги (далее – МКАД), который в дальнейшем может быть применён и для других скоростных дорог, с учётом их параметров.

Так как основным критерием типологии являются маневры слияния (заезда) и отклонения (съезда) и их возможные комбинации, то для расчетов

длины участка каждого типа требуется рассчитать зоны их влияния соответственно. Стоит отметить, что тип перегон является остаточным участком, на котором влияние съездов и заездов на скоростную дорогу минимально, поэтому расчет длины данного участка не требуется. К нему будет относится те части дороги, которые не вошла не в одну из других категорий.

Для осуществления корректного и показательного расчета определение длину зоны влияния производится несколькими способами.

Расчет длины зоны влияния отклонения

1 способ. Расчет по информации навигатора.

В настоящий момент большинство водителей пользуются навигаторами при ежедневных поездках на транспорте. Возможный подход – посмотреть за какое расстояние до маневра навигатор предупреждает об этом пользователя и взять это расстояние как зону влияния отклонения [2, 3].

Наиболее популярные в Российской Федерации навигаторы информируют пользователей о маневре на скоростных дорогах за 500 метров [4].

Целесообразно также учесть, что маневрирование происходит не сразу после объявление о съезде, тратиться время на реакцию [5]. Поэтому длину по данному способу предлагается рассчитывать по следующей формуле:

$$Lперестроения = Lинформирования - Lреакции \quad (1)$$

где

$L_{информирования}$ – длина пути, за который водителя предупреждают о маневре.

$L_{реакции}$ – длина пути, пройденная за время реакции водителя, предлагается рассчитывать по следующей формуле:

$$Lперестроения = Vрасчетная * Tреакции \quad (2)$$

где

$T_{реакции}$ – время реакции водителя, сек;

$V_{расчетная}$ – расчетная скорость движения, км/ч.

Пример расчета для МКАД:

$L_{\text{перестроения}}$ = 500-33,3*1 = 466,7 метра.

Таким образом, согласно подходу по информированию навигатора зона влияния отклонения составляет 470 метров. Однако данный подход имеет существенный недостаток, связанный с необязательным использованием всеми водителями навигационных систем при движении на дорогах общего пользования.

2 способ. Расчет в соответствии с длиной переходно-скоростной полосы.

Для нивелирования влияния маневров встраивания и отклонения из потока на практике используются переходно-скоростные полосы. Согласно [6] длину зоны переходно-скоростной полосы (далее – ПСП) на скоростных дорогах целесообразно организовывать от 200 до 400 метров. При этом важно отметить, что маневры перестроения и набора скорости могут осуществляется за пределами переходно-скоростной полосы, а фактические длины ПСП могут отличатся от рекомендуемых интервалов. Таким образом, значение 400 метров стоит учитывать лишь как ориентировочную нижнюю границу длины зоны влияния.

3 способ. Расчет в соответствии с временем осуществления маневра.

Для осуществления маневра съезда водителю требуется сделать два последовательных действия: снизить скорость до безопасного значения и перестроится в крайний правый ряд. Таким образом, длина зоны влияния может быть рассчитана по следующей формуле:

$$L_{\text{влияния}} = L_{сбросаскорости} + L_{перестроения} = (V_{расчетная} * T_{cc})/3,6 - (J_m * T_{cc}^2)/2 + \\ + V_{расчетная} * T_{\text{перестроения}} * (N_{полос} - 1) \quad (3)$$

где

$L_{\text{сброса скорости}}$ – длина пути, требуемого для сброса скорости, соответствующей скорости потока на съезде. Согласно [7]

$L_{\text{перестроения}}$ – длина пути, требуемого для перестроения в крайний правый ряд.

$T_{\text{перестроения}}$ – время, требуемое на перестроение, принимается равным 3 секундам согласно [8]

T_v – постоянная времени разгона, сек

$J_{\text{т}}$ – установившееся замедление, м/с^2;

$N_{\text{полос}}$ – среднее число полос на скоростных дорогах

$T_{\text{сс}}$ – время сброса скорости, считается согласно [9] по формуле

$$Tcc = Treakcii + Ttormozhenia + Tn \quad (4)$$

где

$T_{\text{торможения}}$ – время срабатывания тормозной системы, с;

$T_{\text{н}}$ – время нарастания замедления, с;

Пример расчета для МКАД:

$L_{\text{перестроения}}$ = 120*1,6/3,6-3*2,56/2+33,3*3*4= 53,3-3,84+399,6 = 449,1 метра.

Таким образом, исходя из проведённого анализа, можно принять длину влияния зоны слияния в интервале 450-500 метров.

Расчет длины зоны влияния слияния

Расчет длины зоны слияния целесообразно проводить по аналогии, однако вместо расчёта торможения использовать экспоненциальный закон разгона:

$$L_{\text{влияния}} = L_{\text{набораскорости}} + L_{\text{перестроения}} = (V_{\text{расчетная}} * |t - T_v * (1 - e^{(-t/T_v)})|) / 3,6 + \\ + V_{\text{расчетная}} * T_{\text{перестроения}} * K_{\text{полос}} \quad (4)$$

где

$L_{\text{набора скорости}}$ – длина пути, требуемого для набора скорости, соответствующей скорости потока. Согласно [7], метров;

$L_{\text{перестроения}}$ – длина пути, требуемого для встраивания в общий поток автомобилей, метров;

T_v – постоянная времени разгона, сек;

$K_{полос}$ – среднее число полос, которое преодолевает автомобиль при встраивании в поток

t – время, требуемое для разгона считается согласно [7] по формуле

$$V = V_{расчетная} * (1 - e^{(-t/T_v)}) \quad (5)$$

где

V – скорость начала маневра разгона, км/ч;

Пример расчета для МКАД:

$L_{перестроения}$ = 120*(13,8-20*(1-$e^{-13.8/20}$)/3.6 + 33.3*3*1,5 = 128,8+149,9 = 278,7 метра.

Исходя из представленного анализа, длин влияния зоны слияния находится в диапазоне 250-300 метров.

Соответственно, для предлагаемой указанной классификации необходимо также соблюсти критерии пространственной независимости:

– зона после слияния до отклонения – при условии, что между маневрами не более 800 метров;

– зона последовательного слияния – при условии, что между маневрами последовательно не более 300 метров;

– зона последовательного отклонения – при условии, что между маневрами последовательно не более 500 метров.

Важно отметить, что проведенные расчеты соответствует нормативной базе минимальных значений длин зоны последовательного слияния и зоны последовательного отклонение (180 и 240 метров соответственно) и Зона после слияния до отклонения (600 метров) согласно [9].

Практическое применение

Настоящий расчёт участка влияния может лечь в основу предиктивно-аналитического подхода, использующего вероятностные показатели уровня конфликтности на дорогах общего пользования. Данная методика направлена на минимизацию вероятности ДТП на основе анализа ряда косвенных

факторов, таких как день недели, погодные условия, продолжительность светового дня и т.д. Системное взаимодействие весовых коэффициентов всех факторов будет иметь вид динамической энергограммы исследуемого участка (рис. 1).

На энергограмме: ось X (горизонтальная): временные интервалы *T*, каждый из которых соответствует фиксированному периоду времени. Ось Y (вертикальная): уровень конфликтности, выраженный через интенсивность взаимодействия между транспортными средствами. Цветовая шкала (градиент): интенсивность цвета указывает на степень конфликтности. (зеленый – умеренная, желтый – повышенная, красная – критическая)

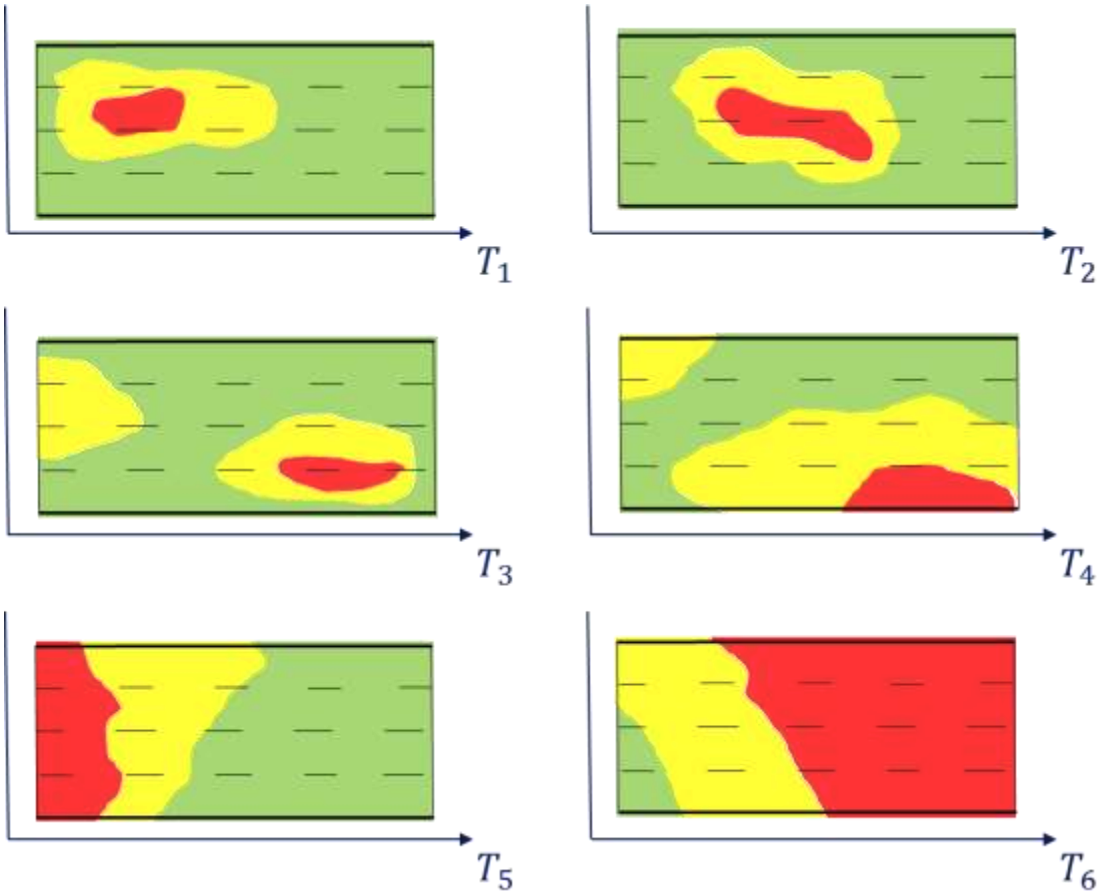

Рис. 1. Энергограмма конфликтности в транспортном потоке на участке за 6 временных интервалов Ti

Заключение

В рамках данной системы мониторинга потенциальной аварийности сбор и обработка данных могут осуществляться посредством специализированных подсистем, интегрированных в интеллектуальную транспортную систему (ИТС). К числу таких подсистем относятся:

– Подсистема фото- и видеофиксации – обеспечивает визуальную регистрацию дорожной обстановки с последующим анализом изображений для выявления потенциально опасных ситуаций.

– Подсистема метеомониторинга – собирает и анализирует метеорологические данные (температура, осадки, видимость, состояние дорожного покрытия и т. д.), влияющие на уровень аварийности.

– Подсистема детектирования ДТП и чрезвычайных ситуаций (ЧС) – автоматически идентифицирует факты дорожно-транспортных происшествий и иных критических событий на основе данных с датчиков и алгоритмов машинного обучения.

Кроме того, в систему могут поступать данные, характеризующие параметры движения транспортных средств, такие как скорость, ускорение, траектория, состояние систем автомобиля и взаимодействие с другими участниками дорожного движения. Эти данные могут быть получены напрямую от транспортных средств, оснащённых технологиями V2X (Vehicle-to-Everything), включая V2V (Vehicle-to-Vehicle) и V2I (Vehicle-to-Infrastructure). Однако их эффективное использование требует достаточного уровня технологической оснащённости как транспортных единиц, так и дорожной инфраструктуры соответствующими аппаратно-программными комплексами.

Таким образом, применение предлагаемой типизации при задачах прогнозирования конфликтных ситуаций в комплексе с использованием других подсистем интеллектуальных транспортных систем позволит классифицировать, анализировать и влиять на участки улично-дорожной сети и, как следствие, повышать безопасность дорожного движения.

Список источников

1. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения / В. В. Сильянов, А. Н. Новиков, С. В. Еремин, А. Г. Шевцова. – 2-е издание, переработанное и дополненное. – Москва - Орёл - Белгород : Белгородский Государственный Технологический Университет им. В. Г. Шухова, 2024. – 331 с. – ISBN 978-5-361-01336-4. – EDN RRPXZL.

2. Ведущий автопроизводитель и конкурентная среда на автомобильном рынке с позиции качества продукции / А. С. Клентак, В. Н. Козловский, У. В. Брачунова, Е. В. Стрижакова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 4. – С. 18-23. – DOI 10.24412/2071-6168-2024-4-18-19. – EDN KTJYEQ.

3. Сотникова, И. С. Внедрение компьютерных систем управления и обеспечение кибербезопасности транспорта / И. С. Сотникова, А. С. Устинова, П. Г. Пономаренко // Современные тенденции развития транспортной отрасли : материалы Международной научно-практической конференции, Нижний Новгород, 15–16 февраля 2024 года. – Нижний Новгород: Самарский государственный университет путей сообщения, 2024. – С. 364-370. – EDN FFYPZF.

4. Галкина, Е. Д. О принципах функционирования мобильного навигационного приложения с системой предупреждения водителя о возможных опасностях на пути следования / Е. Д. Галкина // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2022. – № 1(136). – С. 7-16. – DOI 10.46960/1816-210X_2022_1_7. – EDN TYBGYW.

5. Выбор и обоснование времени реакции водителя в различных дорожных ситуациях при экспертном установлении механизма дорожно-транспортного происшествия / П. М. Мурашев, А. В. Кандауров, А. В. Никишин [и др.] // Актуальные проблемы административного права и процесса. – 2024. – № 1. – С. 52-56. – EDN ENVWTT.

6. Косцов, А. В. Исследование интервалов времени, принятых для совершения маневра, при перестроении автомобилей с переходно-скоростной полосы на крайнюю правую полосу городских автомобильных дорог скоростного движения / А. В. Косцов, А. М. Танатова // Изыскания и проектирование дорог : Сборник научных трудов по материалам конференции студенческого научного общества кафедры «Изыскания и проектирование дорог», Москва, 21 мая 2024 года. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Техполиграфцентр", 2024. – С. 22-37. – EDN EFMRZT.

7. Определение параметров обгона / А. И. Рябчинский, О. В. Майборода, О. Е. Курьянова, С. Н. Сатышев // Автомобильная промышленность. – 2000. – № 6. – С. 10-15.

8. ГОСТ Р 58653-2019. Автомобильные дороги общего пользования. Пересечения и примыкания. Технические требования. – Москва: Стандартинформ, 2019. – С. 13-15. (Таблица 6. Минимальная длина участков разгона и маневрирования).

9. СП 396.1325800.2018. Улицы и дороги населенных пунктов. Правила градостроительного проектирования. – Москва : Минстрой России, 2019. – С. 18-31.

10. Федеральный закон от 10.12.1995 N 196-ФЗ (ред. от 25.12.2023) "О безопасности дорожного движения" // "Российская газета", N 245, 26.12.1995.

11. Майоров, В. И. Оптимизация положений пункта 6.14 Правил дорожного движения Российской Федерации с учетом экспертной и правоприменительной практики / В. И. Майоров // Безопасность дорожного движения. – 2023. – № 2. – С. 20-22. – EDN KNSBDR.

References

1. Sil'yanov V.V., Novikov A.N., Yeremin S.V., Shevtsova A.G. *Teoriya transportnykh potokov v proyektirovanii dorog i organizatsii dvizheniya* (Theory of traffic flows in road design and traffic organization), Moscow, Orel, Belgorod, Belgorodskiy Gosudarstvennyy Tekhnologicheskiy Universitet im. V. G. Shukhova, 2024, 331 p., ISBN 978-5-361-01336-4.

2. Klentak A.S., Kozlovskiy V.N., Brachunova U.V., Strizhakova Ye.V. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki*, 2024, no. 4, pp. 18-23, DOI 10.24412/2071-6168-2024-4-18-19.

3. Sotnikova I.S., Ustinova A.S., Ponomarenko P.G. *Sovremennyye tendentsii razvitiya transportnoy otrasli*, Materialy konferentsii, Nizhniy Novgorod, Nizhniy Novgorod, Samarskiy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya, 2024, pp. 364-370.

4. Galkina Ye. D. T*rudy NGTU im. R.Ye. Alekseyeva*, 2022, no. 1(136), pp. 7-16, DOI 10.46960/1816-210X_2022_1_7.

5. Murashev P.M., Kandaurov A.V., Nikishin A.V., Smirnov M.A., Yamshchikov I.K., Murashev D.M., Lukyanchuk E.A., Levchenko A.A., Petryakov D.A. *Aktual'nyye problemy administrativnogo prava i protsessa*, 2024, no. 1, pp. 52-56.

6. Kostsov A.V., Tanatova A.M. *Izyskaniya i proyektirovaniye dorog*, Sbornik nauchnykh trudov, Moscow, Obshchestvo s ogranichennoy otvetstvennost'yu "Tekhpoligraftsentr", 2024, pp. 22-37.

7. Ryabchinskiy A.I., Mayboroda O.V., Kur'yanova O.Ye., Satyshev S.N. *Avtomobil'naya promyshlennost'*, 2000, no. 6, pp. 10–15.

8. Avtomobil'nyye dorogi obshchego pol'zovaniya. Peresecheniya i primykaniya. Tekhnicheskiye trebovaniya. GOST R 58653-2019 (Public roads. Intersections and junctions. Technical requirements. GOST R 58653-2019), Moscow, Standartinform, 2019, pp. 13-15.

9. Ulitsy i dorogi naselennykh punktov. Pravila gradostroitel'nogo proyektirovaniya. SP 396.1325800.2018 (Streets and roads of populated areas. Urban design rules, SP 396.1325800.2018), Moscow, Minstroy Rossii, 2019, pp. 18-31.

10. O bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya, Federal'nyy zakon ot 10.12.1995, № 196-FZ, red. ot 25.12.2023 (On Road Safety, Federal Law of 10.12.1995 no. 196-FZ, as amended on 25.12.2023), Rossiyskaya gazeta, no. 245, 26.12.1995.

11. Mayorov V.I. *Bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya*, 2023, no. 2, pp. 20-22.

Рецензент: Д.Б. Ефименко, д-р техн. наук, проф., МАДИ

Информация об авторах

Жанказиев Султан Владимирович, д-р техн. наук, проф., МАДИ.
Дронсейко Виталий Витальевич, канд. техн. наук, доц., МАДИ.
Донец Николай Андреевич, Ст. преподаватель, аспирант, МАДИ.

Information about the authors

Zhankaziev Sultan V., Doctor of Sciences (Technical), professor, MADI.
Dronseiko Vitaly V., Candidate of Sciences (Technical), associate professor, MADI.
Donets Nickolay A., Senior lecturer, postgraduate, MADI.

Статья поступила в редакцию 15.04.2025; одобрена после рецензирования 05.05.2025; принята к публикации 19.06.2025.
The article was submitted 15.04.2025; approved after reviewing 05.05.2025; accepted for publication 19.06.2025.