

Научная статья
 УДК 656.02:004.94
 DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2026-23-4-568-581>
 EDN: WKNPXY



ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ НА ПЕРЕГРУЖЕННЫХ УЧАСТКАХ ОПОРНОЙ ДОРОЖНОЙ СЕТИ КУРОРТНОГО РЕГИОНА

Р.С. Рунец

ООО «Центр дорожных инноваций», ООО «Институт транспортного развития»,
 г. Краснодар, Россия
 Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),
 г. Москва, Россия
rrunets@gmail.com

АННОТАЦИЯ

Введение. В статье предложен подход к определению параметров транспортных потоков на перегруженных участках опорной дорожной сети курортного региона, ориентированный на оценку потерь времени и наземной транспортной доступности туристских и транспортных узлов. Рассмотрены два репрезентативных участка федеральных автомобильных дорог Краснодарского края: участок М-4 «Дон» с последовательным снижением числа полос движения и участок А-147 в границах п. Дагомыс с регулируемыми пересечениями.

Материалы и методы. Исходная база сформирована на основе проектов организации дорожного движения, данных стационарных детекторов транспорта, навигационных сервисов и натурных обследований методом «плавающего автомобиля». Для сопоставления применены расчетная функция Bureau of Public Roads, подход Highway Capacity Manual и имитационное транспортное моделирование.

Результаты. Показано, что сезонный туристический спрос и маятниковая миграция формируют выраженную неравномерность интенсивности движения. Максимальная месячная интенсивность на участке М-4 «Дон» в августе достигает 1,35 млн авт./мес., что на 256,2% выше февральских значений низкого туристического сезона. На участке А-147 интенсивность возрастает до 1,36 млн авт./мес., что на 43,7% превышает интенсивность, зафиксированную в феврале. В пиковые периоды скорость движения снижается до 8–11 км/ч, а протяженность очередей достигает 9,8 км на М-4 и 2,4 км на А-147.

Обсуждение и заключение. Расчетные методы дают сглаженную оценку условий движения и занижают время проезда в режиме перегрузки. Имитационная модель воспроизводит накопление транспортных средств, распространение очередей и режимы stop-and-go, поэтому ее целесообразно использовать как основной инструмент анализа заторовых участков и выбора адресных мероприятий по повышению эффективности функционирования сети.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: транспортный поток, автомобиль, курортный регион, затор, имитационное моделирование

Статья поступила в редакцию 13.05.2026; одобрена после рецензирования 17.06.2026; принята к публикации 21.08.2026.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: автор не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Рунец Р.С. Оценка параметров транспортных потоков на перегруженных участках опорной дорожной сети курортного региона // Вестник СиБАДИ. 2026. Т. 23, № 4. С. 568-581. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2026-23-4-568-581>

© Рунец Р.С., 2026



Контент доступен под лицензией
 Creative Commons Attribution 4.0 License.

Original article
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2026-23-4-568-581>
EDN: WKNPX

ASSESSMENT OF TRAFFIC FLOW PARAMETERS ON CONGESTED SECTIONS OF THE PRIMARY ROAD NETWORK OF THE RESORT REGION

Roman S. Runets

*“Center of Road Innovations” Limited Liability Company, “Institute of Transport Development” Limited Liability Company, Krasnodar, Russia
Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia
rrunets@gmail.com*

ABSTRACT

Introduction. The article proposes an approach to determining traffic flow parameters on congested sections of the primary road network in a resort region, aimed at estimating time losses and road transport accessibility of tourist and transport hubs. Two representative sections of federal highways in Krasnodar Krai have been considered: M-4 “Don” section with a sequential reduction in the number of traffic lanes, and A-147 section within the boundaries of Dagomys settlement with controlled intersections.

Materials and Methods. The initial database was compiled from traffic management projects, data from stationary traffic detectors, navigation services, and field surveys using the floating car method. For comparison, the Bureau of Public Roads function, the Highway Capacity Manual approach, and traffic simulation modeling have been applied.

Results. It is shown that seasonal tourist demand and commuting migration create significant unevenness in traffic intensity. On M-4 “Don” highway, the maximum monthly traffic volume in August reaches 1.35 million vehicles per month, which is 256.2% higher than the figures recorded in February during the low tourist season. On A-147 highway, traffic intensity increases to 1.36 million vehicles per month, exceeding the February level by 43.7%. During peak periods, traffic speed decreases to 8–11 km/h, while queue lengths reach 9.8 km on M-4 and 2.4 km on A-147.

Discussion and Conclusion. Calculation methods provide a smoothed assessment of traffic conditions and underestimate travel time under congested conditions. The simulation model reproduces vehicle accumulation, queue propagation, and stop-and-go regimes; therefore, it is advisable to use it as the primary tool for analyzing congested sections and selecting targeted measures to improve network efficiency.

KEYWORDS: traffic flow, vehicle, resort region, traffic congestion, simulation modeling

The article was submitted: May 13, 2026; approved after reviewing: June 17, 2026; accepted for publication: August 21, 2026.

The author has read and approved the final manuscript.

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

For citation. Runets R.S. Assessment of traffic flow parameters on congested sections of the primary road network of the resort region. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2026; 23 (4): 568-581. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2026-23-4-568-581>

© Runets Roman S., 2026



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

ВВЕДЕНИЕ

Устойчивость транспортной системы курортного региона определяется не только пропускной способностью магистральных направлений, но и способностью сети сохранять приемлемое время поездки в периоды кратковременной перегрузки на критических участках дорожной сети. Для курортных регионов эта задача имеет прикладное значение, поскольку автомобильные подходы обеспечивают доступ к местам отдыха, транспортно-пересадочным узлам, аэропортам и объектам сервисной инфраструктуры. При возникновении затора локальное динамичное увеличение интенсивности потока и превышение пропускной способности участка дороги может создавать сетевой эффект: очередь перекрывает соседние участки, растут задержки, снижается предсказуемость времени прибытия.

Теоретическая основа анализа перегруженных потоков сформирована в работах по кинематическим волнам, ударным волнам и динамическому описанию транспортного потока [1, 2, 3]. Эти исследования показывают, что вблизи предельной пропускной способности поток переходит от устойчивого режима к неустойчивому, а малое увеличение спроса может вызвать резкое снижение скорости. Для практических расчетов широко применяются функция Bureau of Public Roads и методология Highway Capacity Manual, позволяющие оценить время движения, уровень обслуживания и задержки на участках и пересечениях [4]. Их достоинством является простота и воспроизводимость, однако такие методы описывают средние или стационарные состояния и ограниченно отражают процессы накопления транспортных средств.

Имитационное транспортное моделирование позволяет рассматривать движение во времени и пространстве, учитывая взаимодействие транспортных средств, геометрию участка, режимы регулирования и дискретную структуру спроса [5]. Это особенно важно для курортных регионов, где сезонный туристический спрос накладывается на регулярную маятниковую миграцию и вызывает многократное изменение транспортной нагрузки в течение суток, месяца и календарного года [6, 7, 8, 9]. В таких условиях основная доля потерь времени участниками дорожного движения формируется на ограниченном числе узких мест, которые должны анализироваться отдельно, а затем учитываться при интегральной оценке работы дорожной сети.

Дополнительную сложность создает разнородность исходных данных. Стационарные детекторы фиксируют интенсивность и состав потока в точках наблюдения, навигационные сервисы дают скорость и время проезда на протяженных участках, а натурные обследования позволяют проверить фактическое прохождение заторового участка [16]. Современные исследования показывают, что надежная достоверная оценка состояния характеристик транспортного потока в реальном времени требует совместного использования таких источников и контроля их качества [10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18].

Целью настоящей статьи является определение параметров транспортных потоков на перегруженных участках опорной дорожной сети курортного региона путем сопоставления результатов, полученных разными методами: фиксации значений показателей на стационарных постах мониторинга, методом «плавающего автомобиля», расчетным путем с использованием статических моделей и методов имитационного транспортного моделирования. Научная задача состоит в выявлении условий, при которых расчетные подходы перестают адекватно описывать заторовый режим, и в обосновании применения имитационной модели для анализа локальных узких мест, влияющих на эффективность функционирования сети в целом.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования выбраны два участка федеральных автомобильных дорог Краснодарского края, имеющие устойчивые признаки перегрузки в периоды максимального спроса. В таблице 1 приведены характеристики типичных участков опорной дорожной сети региона, на которых информация со значениями характеристик транспортного потока была получена из разных источников: проекта организации дорожного движения (ПОДД), Loop Detector Devices (LDD), данные FCD, «плавающий автомобиль».

Первый участок расположен вне населенного пункта на автомобильной дороге М-4 «Дон». Он характеризуется магистральным режимом движения и последовательным снижением числа полос, из-за чего формируется линейное узкое место. Второй участок находится на дороге А-147 «Джубга – Сочи – граница с Республикой Абхазия» в границах п. Дагомыс. Здесь ограничение пропускной способности связано с регулируемыми пересечениями, локальными примыканиями и особенностями продольного профиля.

Таблица 1

Характеристика исследуемых участков опорной дорожной сети региона
Источник: составлено автором.

Table 1

Characteristics of the studied sections of the primary road network of the region
Source: compiled by the author.

Показатель	М-4 «Дон»	А-147, п. Дагомыс	Методическое значение
Положение	км 1377+700 – 1389+000	км 162+600 – 165+000	Сопоставление линейного и узлового ограничений
Протяженность	11,3 км	2,4 км	Различная пространственная шкала заторового процесса
Основной ограничивающий фактор	Последовательное снижение числа полос с трех до одной	Регулируемые пересечения и сложный рельеф	Разные механизмы формирования очереди
Источники информации	ПОДД, LDD, FCD, «плавающий автомобиль»	ПОДД, LDD, FCD, «плавающий автомобиль»	Единая база для расчетов и имитационного транспортного моделирования

Для каждого участка сформирована единая база данных из разных источников информации. Из проектов организации дорожного движения извлечены геометрические параметры, число полос, длины перегонов, сведения о примыканиях, участках сужения и световом регулировании. Данные LDD использованы для восстановления интенсивности и суточной структуры потока. Данные FCD применены для определения скоростей и времени проезда, а результаты натурных обследований методом «плавающего автомобиля» – для проверки фактической динамики движения в заторовом режиме. Перед расчетами данные приведены к единой пространственной привязке и временной шкале; противоречивые наблюдения проверялись путем взвешенного сопоставления источников.

Расчет по функции BPR выполнялся как базовая оценка изменения времени движения при росте коэффициента загрузки участка. Коэффициент загрузки определялся выражениями:

$$z = \frac{q}{C}, \quad (1)$$

$$t = t_0 \cdot [1 + \alpha \cdot z^\beta], \quad (2)$$

$$v = \frac{L}{t}, \quad (3)$$

$$d = t - t_0, \quad (4)$$

где z – коэффициент загрузки; q – интенсивность движения, авт./ч; C – пропускная спо-

собность участка, авт./ч; t – время проезда; t_0 – время проезда в свободных условиях; α и β – эмпирические коэффициенты функции BPR; L – длина участка; v – средняя скорость; d – задержка относительно свободного режима.

Оценка по HCM выполнена для тех же расчетных интервалов. Для регулируемых направлений учитывалась пропускная способность, связанная с насыщенным потоком и долей эффективного разрешающего сигнала в цикле регулирования:

$$c = s \cdot \frac{g}{T}, \quad (5)$$

$$D = d_1 + d_2 + d_3, \quad (6)$$

где c – пропускная способность направления, авт./ч; s – насыщенный поток, авт./ч; g – эффективная длительность разрешающего сигнала; T – длительность цикла; D – средняя задержка транспортного потока; d_1 – составляющая равномерной задержки, обусловленная периодическим прерыванием движения сигналами светофора; d_2 – составляющая приростной задержки, связанная с влиянием степени насыщения и неравномерностью прибытия транспортных средств в течение расчетного периода; d_3 – составляющая остаточной случайной задержки, учитывающая влияние начальной очереди, возможного переполнения направления и иных стохастических факторов, не учтенных в первых двух составляющих.

Имитационное транспортное моделирование использовано для динамического воспроизведения режимов движения транспортного

потока. В расчетную имитационную модель внесены геометрия участков, режимы регулирования, фактические скоростные характеристики и максимальная суточная интенсивность движения с почасовым распределением транспортного спроса в соответствии с его фактической временной неравномерностью. Оценка параметров транспортного потока в ИТМ выполнялась с шагом агрегации 5 мин, что позволило детально проследить динамику формирования, развития и последующего рассеивания транспортных заторов. Калибровка выполнялась по скоростям и времени проезда, полученным из FCD и натурных проездов, а проверка – по соответствию протяженности очередей и моментам перехода потока в режим stop-and-go.

Современные подходы к калибровке имитационных моделей все чаще опираются на траекторные данные, что позволяет более точно воспроизводить микроскопические пара-

метры движения, включая межтранспортные интервалы и характеристики ускорений [19]. Отдельного внимания заслуживает вопрос обучения алгоритмов управления на основе имитационного моделирования: исследования показывают, что наличие в обучающей выборке данных о режиме stop-and-go оказывает значимое влияние на качество алгоритмов управления движением в условиях перегрузки [20].

Рассматриваемые участки, схематично представленные на рисунках 1 и 2, анализируются по единому набору показателей: интенсивность, средняя скорость, время проезда, задержка, пропускная способность, коэффициент загрузки, протяженность и длительность очереди. Для расчетных подходов анализируется усредненная оценка состояния потока; для имитационной модели – дополнительно пространственно-временная динамика накопления транспортных средств.

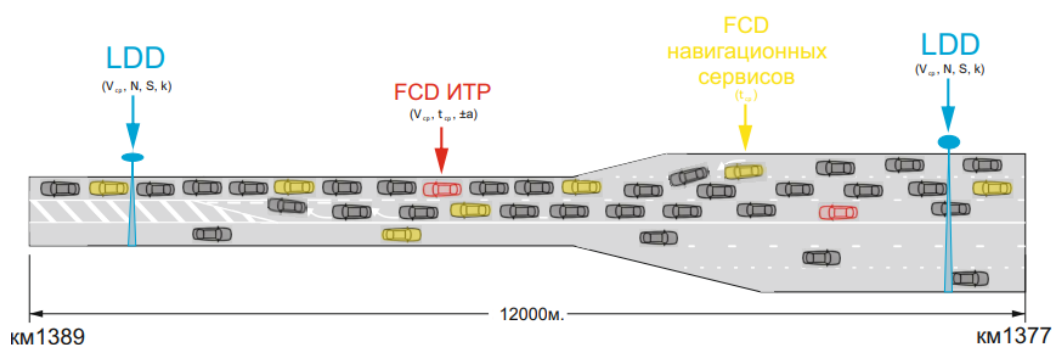


Рисунок 1 – Схема участка М-4 «Дон» с последовательным снижением числа полос и источниками исходных данных
Источник: составлено автором.

Figure 1 – Diagram of M-4 "Don" section with a gradual reduction in the number of lanes and sources of initial data
Source: compiled by the author.



Рисунок 2 – Схема участка А-147 в п. Дагомыс с регулируемыми пересечениями и источниками исходных данных
Источник: составлено автором.

Figure 2 – Diagram of A-147 section in Dagomys settlement with controlled intersections and sources of initial data
Source: compiled by the author.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Динамика месячной интенсивности транспортных потоков (рисунок 3) показывает различное влияние курортного сезона. На участке М-4 «Дон» минимальная интенсивность наблюдается в феврале – 378 967 авт./мес., максимальная в августе – 1 350 045 авт./мес., рост составляет 256,2%. На участке А-147 минимальное значение также фиксируется в феврале – 945 766 авт./мес., а максимальное

в августе – 1 358 950 авт./мес.; рост достигает 43,7%. Несмотря на близкие максимальные значения, сезонные колебания на М-4 значительно выше, поскольку трасса является основной автомобильной артерией для туристического потока. Для г. Сочи характерна более диверсифицированная транспортная система, где значительную долю перевозок обеспечивают железнодорожный и авиационный транспорт, что снижает выраженность сезонных колебаний автомобильного трафика.

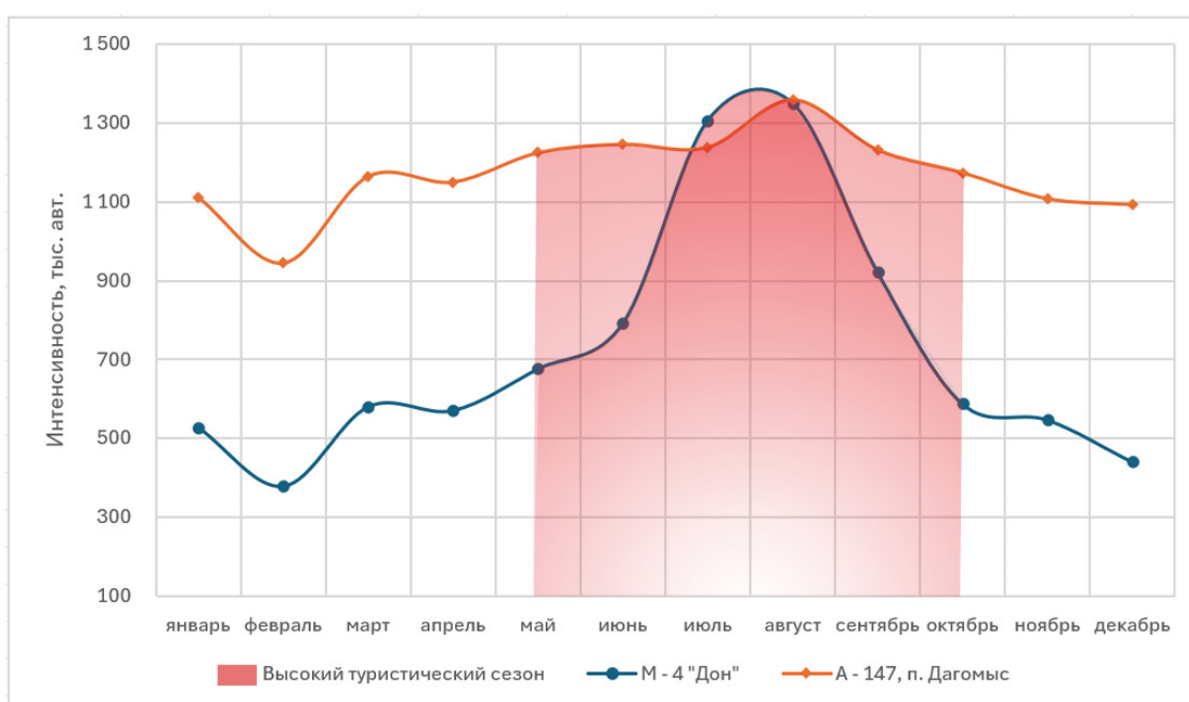


Рисунок 3 – Годовая динамика интенсивности транспортных потоков на исследуемых участках (2024 г.)
Источник: составлено автором.

Figure 3 – Annual dynamics of traffic intensity on the studied road sections (2024)
Source: compiled by the author.

Как показано на рисунке 4, ход часовой интенсивности движения транспортного потока в суточном временном интервале на рассматриваемых участках также различается. На участке М-4 «Дон» максимальная интенсивность достигает 3067 авт./ч в утренний период. На участке А-147 максимум зафиксировано 2932 авт./ч, при этом выражены утренний и вечерний пики,

характерные для сочетания маятниковых поездок и движения транспортных средств с автотуристами. Наиболее неблагоприятным является не сам факт достижения максимальной интенсивности, а длительность периода, в котором значение интенсивности потока остается близким к предельной пропускной способности участка сети.

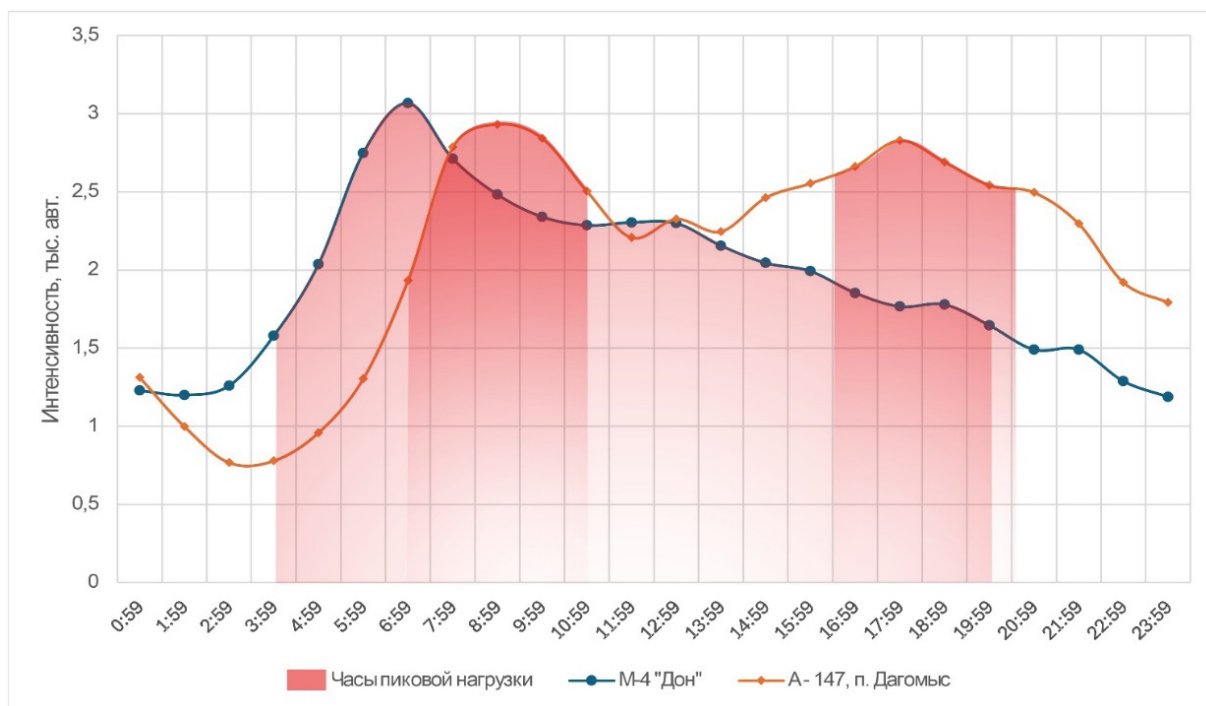


Рисунок 4 – Суточная динамика интенсивности движения
Источник: составлено автором.

Figure 4 – Daily dynamics of traffic intensity
Source: compiled by the author.

Научный интерес представляют результаты оценки часового хода в суточном временном интервале средней скорости движения транспортных потоков на рассматриваемых участках. Как показано на рисунке 5, минимальная скорость на М4 снижается до 8,4 км/ч, на А-147 – до 11 км/ч. Значения ниже 20 км/ч сохраняются не в один расчетный интервал, а в течение продолжительного времени, что соответствует режиму прерывистого движения

с чередованием торможения и кратковременного разгона транспортных средств в потоке. Именно этот эффект плохо воспроизводится статическими зависимостями, поскольку они не описывают последовательность локальных изменений скоростного режима, приводящего к возникновению, нарастанию и уменьшению протяженности очереди в динамике (реальном времени).

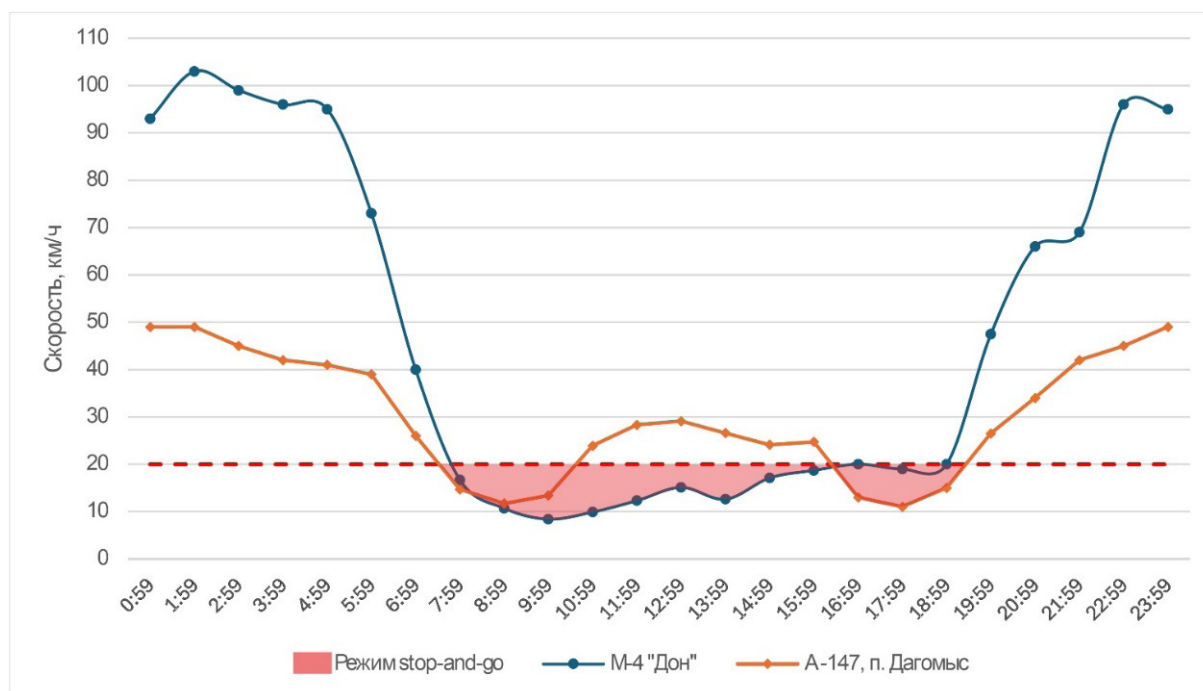


Рисунок 5 – Суточная динамика средней скорости движения и порог образования режима движения stop-and-go
Источник: составлено автором.

Figure 5 – Daily dynamics of average traffic speed and the limit for stop-and-go traffic formation
Source: compiled by the author.

Как видно из рисунка 6, для участка дороги М-4 продолжительность времени затора составляет 12 ч, а максимальная протяженность очереди достигает 9,8 км. Причем затор формируется вследствие сужения проезжей части и распространяется против направления движения. Для участка дороги А-147 продолжительность времени затора составляет

примерно 5 ч (2,5 ч в утренний час пик и 2,5 ч в вечерний), а максимальная протяженность очереди составляет около 2,4 км. Формирование транспортного затора связано с фазами светофорного регулирования, накоплением на подходах к пересечениям и ограниченным числом альтернативных маршрутов в границах населенного пункта.

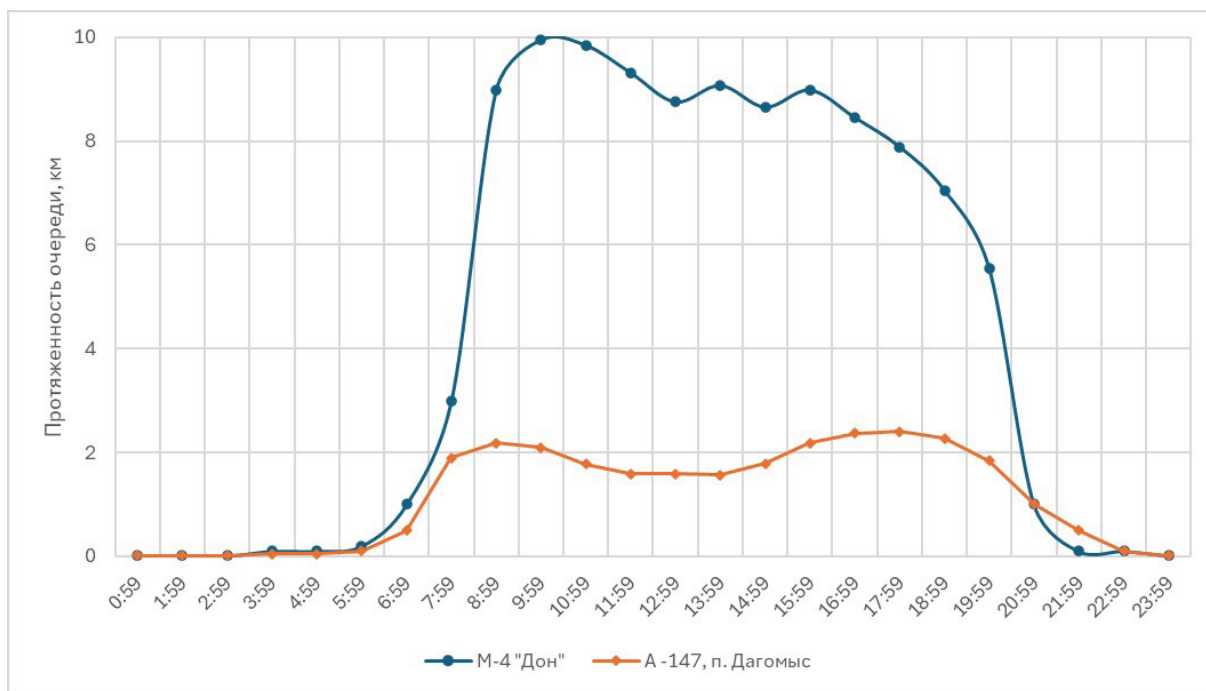
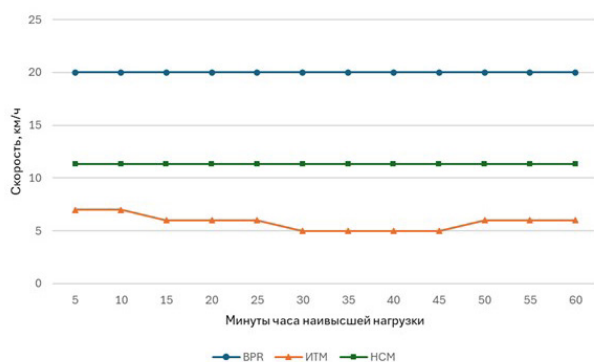


Рисунок 6 – Расчетная протяженность очереди в течение суток на рассматриваемых участках
Источник: составлено автором.

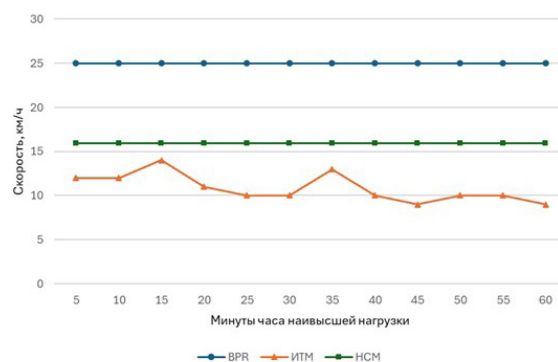
Figure 6 – Calculated queue length per day in the areas under consideration
Source: compiled by the author.

Сопоставление разных методов получения данных о характеристиках транспортных потоков выполнено для часа наивысшей транспортной нагрузки: 10:00 для участка М-4 «Дон» и 18:00 для участка А-147. Как показано на рисунке 7, на М-4 функция BPR дает постоянную сглаженную оценку скорости порядка 20 км/ч, HCM – 11,3 км/ч, тогда как имитацион-

ная модель фиксирует снижение до 5–7 км/ч. Для А-147 расчетные методы также дают более высокие скорости: 25 км/ч по BPR и 15,9 км/ч по HCM против 9–14 км/ч по ИТМ. Различие обусловлено тем, что расчетные методики не описывают распространение очереди, а оценивают состояние участка через обобщенные параметры загрузки.



а



б

Рисунок 7 – Сопоставление скоростей по методам BPR, HCM и ИТМ на участке М-4 «Дон» в час наивысшей нагрузки: а – участок М-4 «Дон»; б – участок А-147
Источник: составлено автором.

Figure 7 – Comparison of speeds using the Bureau of Public Roads (BPR), Highway Capacity Manual (HCM), and transport simulation modeling methods on M-4 «Don» section during the peak hour: а – section M-4 «Don»; б – section A-147
Source: compiled by the author.

Результаты сравнительного анализа методов представлены в таблице 2.

Таблица 2
Сравнение расчетных и имитационных показателей за час наивысшей нагрузки
Источник: составлено автором.

Table 2
Comparison of calculated and simulated indicators per hour with the highest load
Source: compiled by the author.

Участок	Метод	Средняя скорость в сравнительном интервале, км/ч	Пропускная способность, авт./ч	Время проезда, мин	Характер оценки
М-4 «Дон»	BPR	20,0	1683	24	Сглаженная зависимость
М-4 «Дон»	HCM	11,3	2035	44	Оценка уровня обслуживания
М-4 «Дон»	ИТМ	5,8	815	80	Динамика очереди и stop-and-go
А-147, п. Дагомыс	BPR	25,0	1980	8,3	Сглаженная зависимость
А-147, п. Дагомыс	HCM	15,9	2510	12,9	Оценка уровня обслуживания
А-147, п. Дагомыс	ИТМ	10,8	1600	18,8	Динамика очереди и stop-and-go

Полученные результаты показывают, что в условиях перегрузки расчетные методы систематически дают менее достоверную оценку условий движения. Разница наиболее заметна на участке М-4, где геометрическое сужение дороги способствует образованию транспортного затора; ИТМ фиксирует эффективную пропускную способность 815 авт./ч и время проезда 80 мин. На участке А-147 разрыв меньше, но также существенен: имитационная транспортная модель показывает увеличение времени проезда до 18,8 мин и снижение фактической пропускной способности относительно расчетной оценки. Для задач выбора мероприятий эти различия критичны, поскольку именно время проезда и протяженность очереди определяют социально-экономические потери и уровень транспортной доступности.

Полученные результаты показывают, что в условиях перегрузки расчетные методы BPR и HCM систематически демонстрируют менее достоверную оценку условий движения по сравнению с ИТМ. Наиболее выраженные различия наблюдаются на участке М-4 «Дон», где ИТМ определяет пропускную способность 815 авт./ч, что на 51,6% ниже оценки BPR и на 59,9% ниже HCM. Одновременно время проезда возрастает до 80 мин, что превышает результаты BPR на 233% и HCM на 81,8%. На участке А-147 различия менее значительны, однако также остаются существенными: ИТМ показывает снижение пропускной способности на 19,2% относительно BPR и на 36,3% относительно HCM, при увеличении времени проезда на 126,5 и 45,7% соответственно.

Полученные расхождения связаны с тем, что расчетные методы основаны на усредненных зависимостях скорости и интенсивности и не учитывают процессы формирования заторов. В отличие от них ИТМ моделирует реальное поведение транспортного потока: образование и распространение очередей, режим движения stop-and-go, влияние геометрических сужений и неравномерность плотности движения. Благодаря этому ИТМ обеспечивает более реалистичную оценку фактических условий движения, особенно на перегруженных участках, что делает ее наиболее точным инструментом для оценки транспортных потерь и выбора мероприятий по повышению эффективности сети.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнение характеристик транспортных потоков, определенных разными методами, на двух участках дорожной сети курортного ре-

гиона показывает, что механизм образования транспортных заторов должен учитываться при выборе метода анализа. Для линейного ограничения, как на М-4, ключевым является движение потока через сужение и обратное распространение очереди. Для участка сети с регулируемыми пересечениями, как на А-147, решающими становятся фазовая структура светофорного регулирования, распределение потоков по направлениям и накопление на подходах. Несмотря на различие механизмов, общий результат одинаков: при приближении к предельной пропускной способности участка сети формируется транспортный затор большой продолжительности.

Функция BPR удобна для предварительной оценки и для включения в макромоделли сети, однако она не позволяет расчетным методом определить, где именно образуется очередь и как ее протяженность меняется во времени. HCM дает более достоверную оценку качества удобства движения, особенно для регулируемых пересечений, но остается ориентированным на расчетные интервалы и нормативные зависимости. Имитационное транспортное моделирование требует большего объема данных и калибровки (осуществляется «методом «плавающего автомобиля»»), но позволяет получить более достоверные результаты, необходимые для анализа перегруженных состояний, т.е. определить моменты начала затора, длительность фазы накопления, протяженность очереди и момент ликвидации затора.

Практический вывод состоит в том, что оценка эффективности транспортных потоков на опорной дорожной сети курортного региона должна строиться в два этапа. На первом этапе расчетные методы могут использоваться для отбора потенциальных узких мест – «критических» участков на сети. На втором этапе выбранные участки необходимо анализировать с помощью ИТМ, используя детализированные данные LDD, FCD и натурных наблюдений. Такой подход позволяет не усреднять потери времени по всей сети, а выявлять локальные участки, на которых формируется основная доля задержек транспортных средств.

Для транспортного планирования курортных территорий это особенно важно. Рост туристического спроса неравномерен и плохо прогнозируется только по среднегодовым показателям. Решения, основанные на средних скоростях или среднесуточной интенсивности, могут недооценивать продолжительность пиковых транспортных нагрузок на участки дорожной сети. ИТМ, напротив, позволяет

проверять сценарии организации движения, изменения фаз светофорного регулирования, перераспределения потоков, ограничения въезда или локального расширения проезжей части до внедрения мероприятий на всей дорожной сети курортного региона.

Исследование выполнено на двух репрезентативных участках, поэтому полученные численные значения не следует непосредственно переносить на все элементы опорной дорожной сети курортных регионов. Выбор объектов был обусловлен необходимостью сопоставления двух механизмов формирования транспортного затора – линейного и узлового.

В работе рассмотрены регулярные перегрузки, связанные с изменением сезонного и суточного хода характеристик транспортных потоков. Не анализировались ДТП, погодные ограничения, дорожные работы, временные схемы организации движения и другие факторы, нештатные ситуации.

Качество имитационной модели зависит от полноты исходных данных и корректности калибровки. Особенно чувствительны параметры, описывающие поведение водителей при перестроении в зоне сужения и при проезде регулируемых пересечений. Поэтому при применении подхода на других участках необходима повторная настройка модели по локальным данным.

В статье предложен и апробирован методический подход к определению характеристик транспортных потоков на перегруженных участках опорной дорожной сети курортного региона. Он основан на совместном использовании разнородных источников информации и сопоставлении результатов оценки характеристик транспортных потоков разными методами (BPR, HCM и имитационного транспортного моделирования).

Установлено, что исследуемые участки имеют выраженную сезонную и суточную неравномерность. На участке М-4 «Дон» интенсивность движения в августе превышает февральские значения на 256,2%, тогда как на участке А-147 рост интенсивности между февралем и августом составляет 43,7%. В пиковые периоды скорость движения снижается до 8–11 км/ч, формируются протяженные очереди, а транспортный поток переходит в режим stop-and-go.

Расчетные методы оценки целесообразно использовать для предварительной диагностики, но в режиме перегрузки они сглаживают скоростную динамику перемещения транспортных средств в составе транспорт-

ных потоков, завышают значения средних скоростей и занижают значение времени проезда. Имитационное моделирование позволяет воспроизводить накопление транспортных средств, формирование и распространение очереди, а также ее фактическое снижение вплоть до ликвидации режима движения stop-and-go. По этой причине ИТМ следует рассматривать как основной инструмент анализа локальных узких мест (заторовых участков на сети) и обоснования мероприятий по повышению устойчивости и эффективности опорной дорожной сети курортных регионов.

Дальнейшее развитие исследования связано с расширением числа рассматриваемых объектов, учетом других факторов и нештатных ситуаций на сети и переходом от анализа отдельных заторовых участков к интегральной оценке эффективности взаимосвязанных элементов транспортной сети.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Mohammadian S., Zheng Z., Haque M.M., Bhaskar A. Continuum modeling of freeway traffic flows: State-of-the-art, challenges and future directions in the era of connected and automated vehicles // *Communications in Transportation Research*. 2023. Vol. 3. 100107. <https://doi.org/10.1016/j.commtr.2023.100107>
2. Wang Y., Wang L., Yu X., Guo J. Capacity Drop at Freeway Ramp Merges with Its Replication in Macroscopic and Microscopic Traffic Simulations: A Tutorial Report // *Sustainability*. 2023. Vol. 15, no. 3. 2050. <https://doi.org/10.3390/su15032050>
3. Li J., Ma W. A survey on urban traffic control under mixed traffic environment with connected automated vehicles // *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2023. Vol. 154. 104258. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2023.104258>
4. Helbing D. Traffic and related self-driven many-particle systems // *Reviews of Modern Physics*. 2001. Vol. 73. Pp. 1067–1141. <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.73.1067>
5. Imran W., Tettamanti T., Varga B., Bifulco G.N., Pariota L. Macroscopic modeling of connected, autonomous and human-driven vehicles: A pragmatic perspective // *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*. 2024. Vol. 24. 101058. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2024.101058>
6. Hacia E. The impact of tourist traffic on the functioning of Polish seaside health resorts // *Transportation Research Procedia*. 2016. Vol. 16. Pp. 110–121. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.11.012>
7. Curtale R., Morandi M., Cavagnaro E. Traffic Congestion in Rural Tourist Areas and Sustainable Mobility Solutions: A Stated Preference Approach // *Journal of Sustainable Tourism*. 2023. Vol. 31, no. 8. Pp. 1843–1864. <https://doi.org/10.1080/09669582.2022.2108044>
8. Cheng J., Wu L., Gao Y., Tian X. A multi-agent

model of traffic simulation around urban scenic spots: From the perspective of tourist behaviors // *Heliyon*. 2023. Vol. 9. e20929. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20929>

9. Connell J., Page S.J. Exploring the spatial patterns of car-based tourist travel in Loch Lomond and Trossachs National Park, Scotland // *Tourism Management*. 2008. Vol. 29, no. 3. Pp. 561–580. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2007.06.005>

10. Потапова И.А., Бояршинова И.Н., Исмагилов Т.Р. Методы моделирования транспортного потока // *Фундаментальные исследования*. 2016. № 10-1. С. 78–83.

11. Недяк А.В., Рудзейт О.Ю., Зайнетдинов А.Р. Классификация методов моделирования транспортных потоков // *Вестник Евразийской науки*. 2019. Т. 11, № 1. С. 14. <https://doi.org/10.15862/25TVN119>

12. Rowan D., Fountas G., Anastasopoulos P.Ch. A systematic review of machine learning-based microscopic traffic flow models and simulations // *Communications in Transportation Research*. 2025. Vol. 5. 100149. <https://doi.org/10.1016/j.commtr.2025.100149>

13. Sunderrajan A., Viswanathan V., Cai W., Knoll A. Traffic state estimation using floating car data // *Procedia Computer Science*. 2016. Vol. 80. Pp. 2336–2341. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.05.436>

14. Blumthaler W., Bursa B., Mailer M. Influence of floating car data quality on congestion identification // *European Journal of Transport and Infrastructure Research*. 2020. Vol. 20, no. 4. Pp. 22–37. <https://doi.org/10.18757/ejtr.2020.20.4.5287>

15. García-Castro A., Monzón A. Using floating car data to analyse the effects of ITS measures and eco-driving // *Sensors*. 2014. Vol. 14. Pp. 21358–21374. <https://doi.org/10.3390/s141121358>

16. Zheng L., Ma H., Wang Z. Travel Time Estimation for Urban Arterials Based on the Multi-Source Data // *Sustainability*. 2024. Vol. 16. 7845. <https://doi.org/10.3390/su16177845>

17. Bai L., Wong W., Xu P., Liu Y., Chow A.H.F., Lam W.H.K. Fusion of multi-resolution data for estimating speed–density relationships // *Transportation Research Part C*. 2024. Vol. 165. 104742. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2024.104742>

18. Ipekyuz B., Sevinen P.K., Yaman H.T. Performance Evaluation of Fused Floating Car Data (FCD) and Bluetooth (BT) Data Speed Estimation on Urban Arterials // *Arabian Journal for Science and Engineering*. 2025. Vol. 50. Pp. 17091–17108. <https://doi.org/10.1007/s13369-024-09844-x>

19. Hale D.K., Ghiasi A., Khalighi F., Zhao D., Li X., James R.M. Vehicle Trajectory-Based Calibration Procedure for Microsimulation // *Transportation Research Record*. 2023. Vol. 2677, no. 1. Pp. 1764–1781. <https://doi.org/10.1177/03611981221124597>

20. Zhou A., Peeta S., Zhou H., Laval J., Wang Z., Cook A. Implications of Stop-and-Go Traffic on Training Learning-Based Car-Following Control // *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2024. Vol. 163. 104578. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2024.104578>

REFERENCES

1. Mohammadian S., Zheng Z., Haque M.M., Bhaskar A. Continuum modeling of freeway traffic flows: State-of-the-art, challenges and future directions in the era of connected and automated vehicles. *Communications in Transportation Research*. 2023; Vol. 3. 100107. <https://doi.org/10.1016/j.commtr.2023.100107>

2. Wang Y., Wang L., Yu X., Guo J. Capacity Drop at Freeway Ramp Merges with Its Replication in Macroscopic and Microscopic Traffic Simulations: A Tutorial Report. *Sustainability*. 2023; Vol. 15, no. 3. 2050. <https://doi.org/10.3390/su15032050>

3. Li J., Ma W. A survey on urban traffic control under mixed traffic environment with connected automated vehicles. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2023; Vol. 154. 104258. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2023.104258>

4. Helbing D. Traffic and related self-driven many-particle systems. *Reviews of Modern Physics*. 2001; Vol. 73. Pp. 1067–1141. <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.73.1067>

5. Imran W., Tettamanti T., Varga B., Bifulco G.N., Pariota L. Macroscopic modeling of connected, autonomous and human-driven vehicles: A pragmatic perspective. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*. 2024; Vol. 24. 101058. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2024.101058>

6. Hacia E. The impact of tourist traffic on the functioning of Polish seaside health resorts. *Transportation Research Procedia*. 2016; Vol. 16. Pp. 110–121. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.11.012>

7. Curtale R., Morandi M., Cavagnaro E. Traffic Congestion in Rural Tourist Areas and Sustainable Mobility Solutions: A Stated Preference Approach. *Journal of Sustainable Tourism*. 2023; Vol. 31, no. 8. Pp. 1843–1864. <https://doi.org/10.1080/09669582.2022.2108044>

8. Cheng J., Wu L., Gao Y., Tian X. A multi-agent model of traffic simulation around urban scenic spots: From the perspective of tourist behaviors. *Heliyon*. 2023; Vol. 9. e20929. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20929>

9. Connell J., Page S.J. Exploring the spatial patterns of car-based tourist travel in Loch Lomond and Trossachs National Park, Scotland. *Tourism Management*. 2008; Vol. 29, no. 3. Pp. 561–580. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2007.06.005>

10. Potapova I.A., Boyarshinova I.N., Ismagilov T.R. Methods of traffic flow modeling. *Fundamental'nye issledovaniya = Fundamental Research*. 2016; 10-1: 78–83 (In Russ.).

11. Nedyak A.V., Rudzeit O.Yu., Zaynetdinov A.R. Classification of traffic flow modeling methods. *Vestnik Evraziyskoy nauki = The Eurasian Scientific Journal*. 2019; 11(1): 14. (In Russ.) <https://doi.org/10.15862/25TVN119>

12. Rowan D., Fountas G., Anastasopoulos P.Ch. A systematic review of machine learning-based microscopic traffic flow models and simulations. *Communications in Transportation Research*. 2025; Vol. 5. 100149. <https://doi.org/10.1016/j.commtr.2025.100149>

13. Sunderrajan A., Viswanathan V., Cai W., Knoll A. Traffic state estimation using floating car data.

Procedia Computer Science. 2016; Vol. 80. Pp. 2336–2341. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.05.436>

14. Blumthaler W., Bursa B., Mailer M. Influence of floating car data quality on congestion identification. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*. 2020; Vol. 20, no. 4. Pp. 22–37. <https://doi.org/10.18757/ejtir.2020.20.4.5287>

15. García-Castro A., Monzón A. Using floating car data to analyse the effects of ITS measures and eco-driving. *Sensors*. 2014; Vol. 14. Pp. 21358–21374. <https://doi.org/10.3390/s141121358>

16. Zheng L., Ma H., Wang Z. Travel Time Estimation for Urban Arterials Based on the Multi-Source Data. *Sustainability*. 2024; Vol. 16. 7845. <https://doi.org/10.3390/su16177845>

17. Bai L., Wong W., Xu P., Liu Y., Chow A.H.F., Lam W.H.K. Fusion of multi-resolution data for estimating speed–density relationships. *Transportation Research Part C*. 2024; Vol. 165. 104742. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2024.104742>

18. Ipekyuz B., Sevinen P.K., Yaman H.T. Performance Evaluation of Fused Floating Car Data (FCD) and Bluetooth (BT) Data Speed Estimation on Urban Arterials. *Arabian Journal for Science and Engineering*. 2025; Vol. 50. Pp. 17091–17108. <https://doi.org/10.1007/s13369-024-09844-x>

19. Hale D.K., Ghiasi A., Khalighi F., Zhao D., Li X., James R.M. Vehicle Trajectory-Based Calibration Procedure for Microsimulation. *Transportation Research Record*. 2023; Vol. 2677, no. 1. Pp. 1764–1781. <https://doi.org/10.1177/03611981221124597>

20. Zhou A., Peeta S., Zhou H., Laval J., Wang Z., Cook A. Implications of Stop-and-Go Traffic on Training

Learning-Based Car-Following Control. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2024; Vol. 163. 104578. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2024.104578>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Рунец Роман Сергеевич – генеральный директор Центра дорожных инноваций и Института транспортного развития (350040, г. Краснодар, ул. Таманская, д. 182/4); аспирант Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ) (125319, г. Москва, Ленинградский проспект, д. 64).

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9241-4072>,

SPIN-код: 4648-2942,

Scopus ID: 60608780500,

Researcher ID: PYZ-2364-2026,

e-mail: rrunets@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Runets Roman S. – General Director, Center of Road Innovations LLC and Institute of Transport Development LLC (182/4, Tamanskaya Street, Krasnodar, Krasnodar Region, 350040).

Postgraduate Student, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI) (64, Leningradskiy Prospekt, Moscow, 125319).

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9241-4072>,

SPIN-code: 4648-2942,

Scopus ID: 60608780500,

Researcher ID: PYZ-2364-2026,

e-mail: rrunets@gmail.com