

УДК: 625.71  
DOI: 10.48612/NewsKSUAE/70.25  
EDN: TOUNOL



## Исследование параметров движения транспортных потоков на элементах улично-дорожной сети в городских условиях

Т.К. Комарова<sup>1,2</sup>, П.И. Пospelov<sup>1,2</sup>, Д.С. Мартяхин<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет) СКГМИ (ГТУ), г. Владикавказ, Российская Федерация

<sup>2</sup>Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), г. Москва, Российская Федерация

**Аннотация:** Мировая практика проектирования улично-дорожной сети городов и оценки качества обслуживания ее элементов показывает необходимость учета мнения всех участников дорожного движения. Актуальность исследования состоит в учете влияния пешеходного движения на транспортные потоки нерегулируемых примыканий городских улиц. В качестве цели исследования принято определение параметров движения транспорта на элементах улично-дорожной сети городов. В состав задач исследования входят разработка методики проведения исследования (методы, выбор объектов и условий наблюдения) и определение основных фактических параметров движения транспортных потоков, которые позволят определить пропускную способность и качество обслуживания нерегулируемых примыканий с учетом пешеходного движения.

В качестве параметров выбраны интенсивность движения по полосам движения, интервалы между автомобилями при разъезде из очереди со второстепенных направлений, граничные интервалы в главном потоке. По результатам измерений проведен сводный статистический анализ выбранных параметров. В дальнейшем запланировано проведение аналогичных исследований параметров движения транспортных потоков в г. Владикавказ как городе средней крупности для комплексной оценки параметров движения транспортных потоков в России.

**Ключевые слова:** транспортный поток, нерегулируемое примыкание, интенсивность движения, интервал между автомобилями, граничный интервал

**Для цитирования:** Комарова Т.К., Пospelov П.И., Мартяхин Д.С. Исследование параметров движения транспортных потоков на элементах улично-дорожной сети в городских условиях // Известия КГАСУ, 2024, № 4(70), с. 285-293, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/70.25, EDN: TOUNOL

## Investigation of traffic flow parameters on the street and road network elements in urban conditions

T.K. Komarova<sup>1,2</sup>, P.I. Pospelov<sup>1,2</sup>, D.S. Martyakhin<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>North Caucasian Mining and Metallurgical Institute (State Technological University) SKGMI (GTU), Vladikavkaz, Russian Federation

<sup>2</sup>Moscow Automobile and Road Engineering State Technical University (MADI), Moscow, Russian Federation

**Abstract:** The world practice of designing the urban road network and evaluating the quality of service of its elements shows the need to take into account the opinions of all road users. The relevance of the study is to take into account the influence of pedestrian traffic on the traffic flows of unsignalized urban street junctions. The purpose of the study is to determine the parameters of

traffic on the elements of the urban street and road network. The objectives of the study include the development of research methods (methods, selection of objects and conditions of observation) and the determination of the main actual parameters of traffic flows, which will determine the capacity and quality of service of unsignalized junctions, taking into account pedestrian traffic. The traffic intensity along the lanes, the intervals between cars when leaving the queue from secondary directions, and boundary intervals in the main stream are selected as parameters. Based on the measurement results, a summary statistical analysis of the selected parameters was carried out. In the future, it is planned to conduct similar studies of traffic flow parameters in Vladikavkaz as a medium-sized city for a comprehensive assessment of traffic flow parameters in Russia.

**Keywords:** traffic flow, unsignalized junction, traffic intensity, interval between cars, boundary interval

**For citation:** Komarova T.K., Pospelov P.I., Martyakhin D.S. Investigation of traffic flow parameters on the street and road network elements in urban conditions // News of KSUAE, 2024, № 4(70), p. 285-293, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/70.25, EDN: TOUNOL

## 1. Введение

Мировые тенденции развития улично-дорожной сети городов направлены на обеспечение качества обслуживания и удобства движения пользователей [1]. Совокупный учет движения автомобилей, пешеходов, велосипедистов, пользователей средств индивидуальной мобильности отвечает требованиям мультимодальной оценки удобства движения в городах [2].

При комплексном подходе к оценке качества обслуживания улично-дорожной сети и ее элементов учитывают компоновку планировочного решения: число полос движения, радиусы закруглений на пересечениях и примыканиях, геометрические размеры других элементов улиц и дорог, наличие дополнительных поворотных полос, остановочных карманов, парковок. В качестве основных параметров движения транспорта выделяют скорость, интенсивность и плотность движения, интервалы автомобилей, задержки времени водителей при проезде пересечения. В случае наличия светофорного регулирования учитывают характеристики светофорного цикла [3].

При оценке качества обслуживания пешеходов оказывают влияние геометрические параметры тротуара, его ширина, продольный и поперечный уклоны, состояние покрытия, задержки времени пешеходов при пересечении проезжей части, доступность объектов притяжения населения [4]. В части пользователей общественного транспорта следует уделять внимание частоте и регулярности движения общественного транспорта на маршрутах, доступности остановок, задержкам времени при проезде пересечений. Велосипедисты и пользователи средств индивидуальной мобильности могут двигаться как по велосипедным полосам на проезжей части, по тротуарам, отдельным велодорожкам. На их качество движения будут оказывать влияние геометрические параметры путей движения, интенсивность автомобилей и пешеходов, задержки времени, доступность пунктов стоянки велосипедов [5].

В качестве совокупного параметра для оценки качества обслуживания всех пользователей улично-дорожной сети выделяют задержки времени на пересечении [6]. Большую роль играет расстояние между пересечениями или длина рассматриваемого сегмента улицы. Пропускная способность и качество обслуживания сегмента улицы будет определена пропускной способностью пересечения или элемента, входящего в состав рассматриваемого сегмента. Одним из планировочных элементов улично-дорожной сети являются нерегулируемые примыкания. Основным критерием выбора планировочного элемента при проектировании или оценки качества работы планировочного элемента в сформировавшихся условиях является его пропускная способность [7, 8].

Для определения пропускной способности нерегулируемых примыканий и оценки качества их работы необходимо провести натурные исследования параметров движения транспортных потоков в современных условиях движения [9, 10].

Многие рекомендации по проектированию улично-дорожной сети отмечают необходимость проведения натурных исследований [11, 15]. Исследования параметров движения на элементах улично-дорожной сети являются значимой частью отечественной транспортной и градостроительной отрасли [12, 13]. Вопрос исследования параметров движения транспортных потоков является актуальным и должен быть исследован.

Настоящие исследования проведены на примере г. Москва. Результаты натурных исследований использованы для определения пропускной способности нерегулируемых примыканий в одном уровне<sup>1</sup>. Запланировано проведение аналогичных исследований на примере г. Владикавказ, как города средней крупности с целью комплексной оценки параметров движения транспортных потоков в России.

Целью настоящего исследования является определение параметров движения транспортных потоков на нерегулируемых примыканиях в городских условиях.

Задачами исследования являются выбор методов проведения исследования, объектов наблюдения, условий проведения исследований, определение интенсивности движения по направлениям движения на нерегулируемых примыканиях, определение интервалов автомобилей, определение граничных интервалов.

## 2. Материалы и методы

Методика определения величин граничных интервалов заключается в измерении величин практически наблюдаемых интервалов, при которых водители транспортных средств второстепенного направления принимают для совершения маневра с последующей их обработкой методами математической статистики путем построения кривых накопленной частоты [14, 15].

Граничный интервал может быть определен согласно методам Гриншильдса [7] или Раффа [16]. При этом граничный интервал является интервалом между автомобилями в главном потоке, который принимают водители второстепенной дороги при совершении маневра, и соответствует интервалу 50% или 85% обеспеченности при методе Гриншильдса [7], либо по соотношению принятых и отвергнутых интервалов по методу Раффа [16]. В рамках проведенной работы, исследуемые параметры определены именно этим способом.

Наблюдения проведены на объектах, расположенных в городе Москва [19]. Количество объектов наблюдения составило 6 шт. Число полос движения на исследуемых примыканиях варьируется от 1 до 4, радиусы закруглений примыканий находились в диапазоне от 6,00 до 25,00 м.

Для измерения характеристик большой группы автомобилей принята случайная выборка исследуемых величин. При этом достаточное количество измерений, при котором достигается заданная точность измерений, может быть найдено по следующей формуле (1) [18]:

$$n = \frac{t^2 \sigma^2}{\Delta^2}; \quad (1)$$

где  $n$  – объем необходимой выборки (количество измерений);

$t$  – параметр функции доверительной вероятности;

$\sigma$  – ожидаемое средне-квадратичное отклонение случайной величины;

$\Delta$  – необходимая точность измерений (допустимая погрешность).

Среднеквадратическое отклонение, с учетом свойств закона нормального распределения, может быть найдено согласно формуле (2) [18]:

$$\sigma = \frac{R}{6}; \quad (2)$$

где  $R$  – размах исследуемой величины.

<sup>1</sup> Комарова Т.К. Математическое моделирование движения автомобилей и пешеходов на нерегулируемых примыканиях // Известия КГАСУ. 2023. Т. 3. Вып. 65. С. 163-174. DOI: 10.52409/20731523\_2023\_3\_163.

Komarova, T.K. Mathematical modelling of the automobiles and pedestrian moving on the unsignalized junction // News KSUAE. 2023. Vol. 3. Iss. 65. P. 163-174. DOI: 10.52409/20731523\_2023\_3\_163.

Оценка количества измерений интенсивности движения и интервалов автомобилей приведена для следующих параметров: интенсивности движения автомобилей на полосу движения, учитывая различные направления движения (в том числе прямо, налево, направо), интервалы следования между автомобилями в главном потоке и интервалы следования между автомобилями при разъезде из очереди. Результаты минимально требуемой выборки случайных величин представлены на рис. 1.

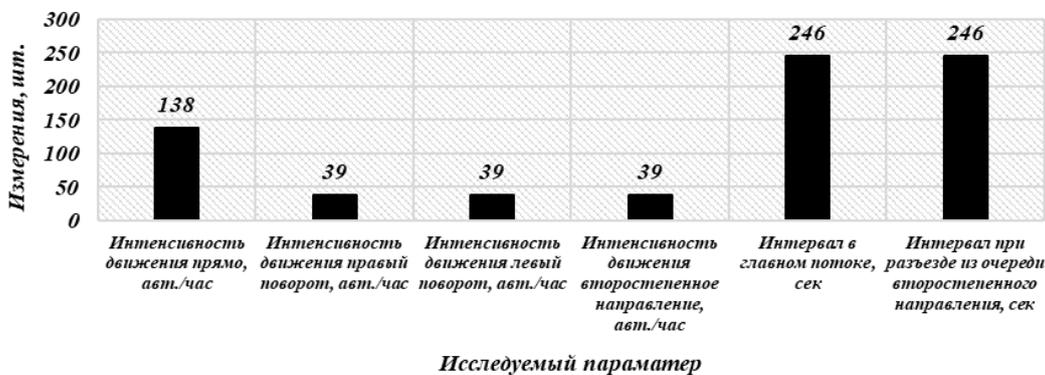


Рис. 1. Оценка количества измерений интенсивности движения и интервалов между автомобилями (иллюстрация автора)

Fig. 1. Estimation of the number of measurements of traffic intensity and intervals between cars (illustration by the author)

В качестве метода исследования выбран метод видеофиксации с последующей статистической обработкой данных.

Исследования проведены в светлое время суток при сухом состоянии дорожного покрытия. Исследованы три периода времени: утренний час-пик, день, вечерний час-пик.

### 3. Результаты и обсуждение

По результатам исследования интенсивности движения составлены гистограммы интенсивности движения по направлениям движения. Пример гистограммы приведен на рис. 2.



Рис. 2. Гистограмма интенсивности движения по выбранным направлениям для объекта ул. Просторная – ул. Алымова) (иллюстрация автора)

Fig. 2. A histogram of the traffic intensity in the selected directions for the object of Prostornaya St. – Alymova St.) (an illustration by the author)

Пример определения граничного интервала в главном потоке, равного 3,60 сек, приведен на рис. 3.

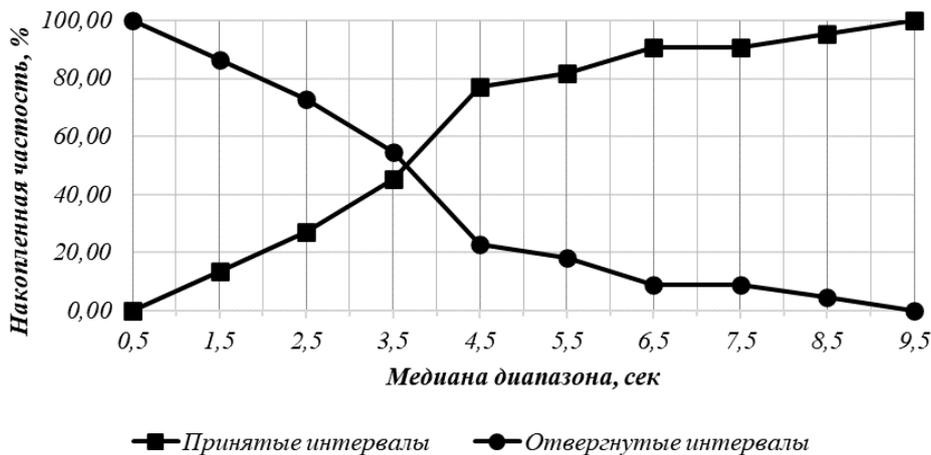


Рис. 3. Пример определения граничного интервала (иллюстрация автора)  
 Fig. 3. An example of determining the boundary interval (illustration by the author)

Результаты натуральных измерений интенсивности движения и интервалов автомобилей приведены на рисунках 4 - 6.

Средние значения интервалов следования по результатам сводного статистического анализа, соответственно составили при движении: по правоповоротной полосе второстепенной дороги – 3,50 сек, по левоповоротной полосе второстепенной дороги – 4,20 сек, по левоповоротной полосе главной дороги – 3,10 сек.

Средние значения граничных интервалов соответственно составили: для поворота направо со второстепенной дороги на главную дорогу – 6,40 сек, для поворота налево со второстепенной дороги на главную дорогу – 7,90 сек, для поворота налево с главной дороги на второстепенную – 6,30 сек.

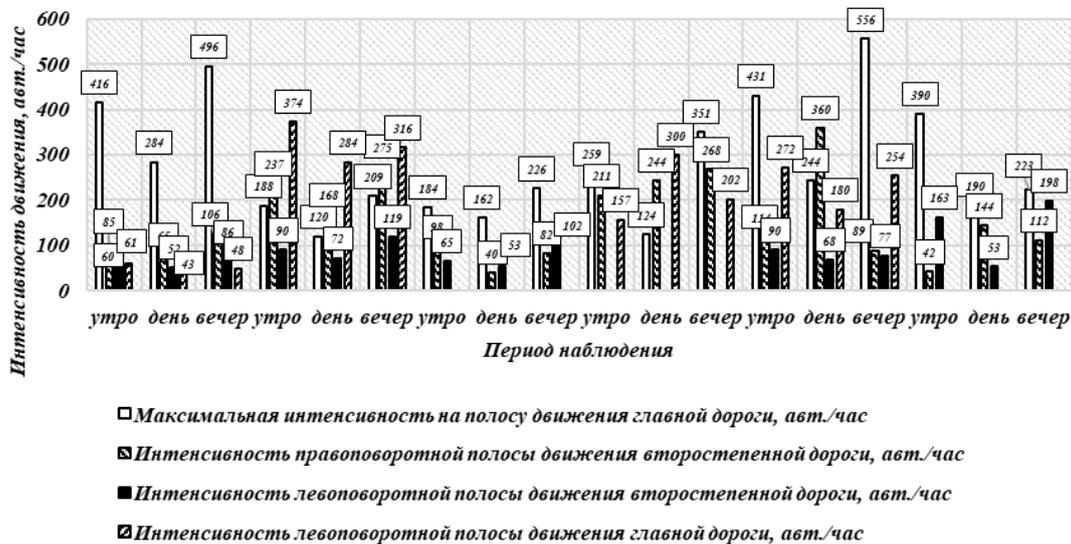


Рис. 4. Сводные данные по натурным наблюдениям интенсивности движения (иллюстрация автора)  
 Fig. 4. Summary data on field observations of traffic intensity (illustration by the author)

Проведен сопоставительный анализ значений интервалов следования между автомобилями при разъезде из очереди и граничных интервалов в главном потоке, полученных по результатам натуральных измерений и представленных в зарубежном руководстве HCM [16]. Результаты сопоставительного анализа приведены в таблице 1.

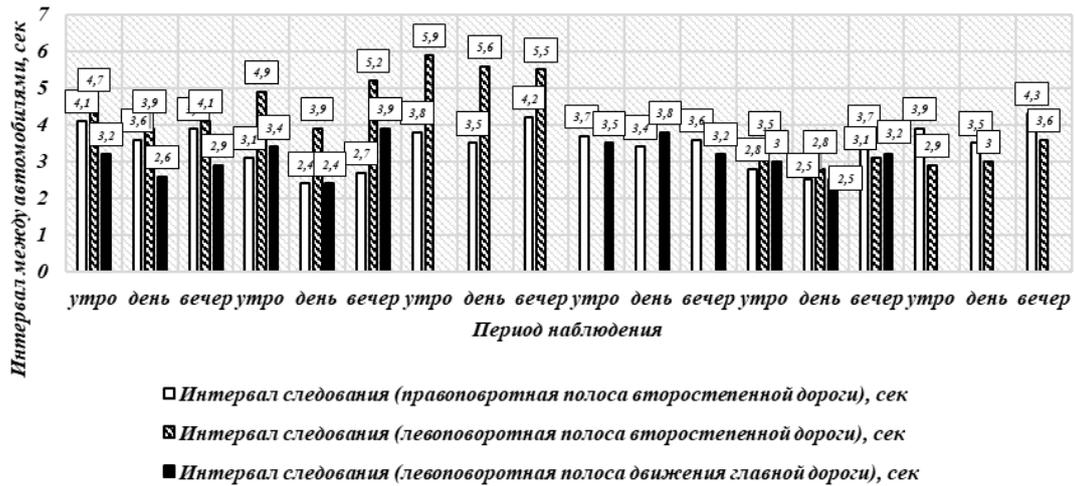


Рис. 5. Сводные данные по натурным наблюдениям интервалов следования между автомобилями (иллюстрация автора)

Fig. 5. Summary data on field observations of the intervals between cars (illustration by the author)

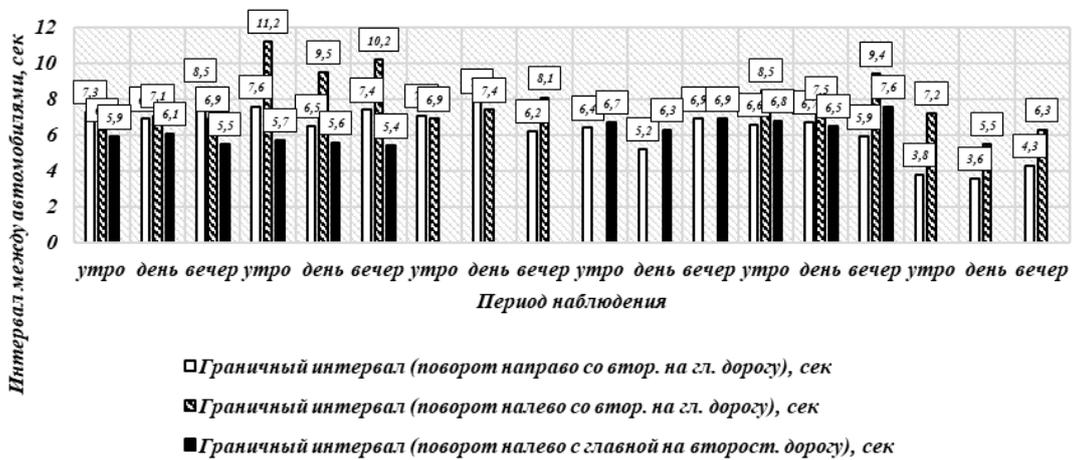


Рис. 6. Сводные данные по натурным наблюдениям граничных интервалов (иллюстрация автора)

Fig. 6. Summary data on field observations of the boundary intervals (illustration by the author)

Таблица 1

Сопоставительный анализ

Направление движения	Граничный интервал [16], сек	Граничный интервал по результатам натурных наблюдений, сек	Расхождение результатов, %	Интервал разъезда из очереди [16], сек	Интервал разъезда из очереди по результатам натурных наблюдений, сек	Расхождение результатов, %
Левоповоротная полоса главной дороги	4,10	6,30	34,92	2,20	3,10	29,03
Правоповоротная полоса второстепенной дороги	6,20	6,40	3,13	3,30	3,50	5,71
Левоповоротная полоса второстепенной дороги	7,10	7,90	10,13	3,50	4,20	16,67

Сопоставительный анализ результатов натуральных измерений и данных руководства Highway capacity manual 2016 [16] показал значения расхождений средних значений исследуемых параметров в диапазоне от 3 до 35 %.

Результаты исследований, посвященных определению параметров транспортных потоков в современных условиях движения, позволяют оценить действительное состояние транспортного и пешеходного потока.

Исследование параметров транспортных потоков в различных городах нашей страны способствует определению более точных усредненных параметров, которые могут стать основой нормативных документов по проектированию элементов улично-дорожной сети и методических рекомендаций по определению пропускной способности.

В целях дальнейшей разработки единой системы практических рекомендаций по повышению пропускной способности элементов улично-дорожной сети необходимо проведение дополнительных исследований в других городах России. В дальнейшем планируется проведение исследований параметров движения транспортных и пешеходных потоков в городе Владикавказ, как городе относящемуся к городу типа средней крупности.

Сопутствующая разработка практических рекомендаций по повышению пропускной способности и снижению задержек времени водителей и пешеходов на элементах улично-дорожной сети необходима для обеспечения возможности принятия проектного решения в случае выявления несоответствия загруженности какого-либо элемента улично-дорожной сети его пропускной способности.

Более точное определение пропускной способности элемента улично-дорожной сети и устройство дополнительных мероприятий по повышению его пропускной способности позволит повысить качество обслуживания дорожного движения и улучшить экономическую эффективность перевозок грузов и пассажиров. Комплексный подход к оценке параметров транспортных и пешеходных потоков, определению пропускной способности пересечений и сегментов улиц и их уровня обслуживания позволит находить оптимальные проектные решения, которые будут удовлетворять потребностям всех участников дорожного движения.

#### 4. Заключение

В результате проведенного исследования сформулированы следующие выводы:

1. Проведены натурные исследования параметров транспортных потоков на нерегулируемых примыканиях в городских условиях.
2. По результатам сводного статистического анализа получены средние значения интенсивности движения по полосам движения, интервалы разезда из очереди со второстепенной дороги, граничные интервалы в главном потоке.
3. Широкий разброс значений сопоставительного анализа результатов натуральных измерений в России и за рубежом связан с расположением объектов проведения исследований, наличием нерегулируемых пешеходных переходов, психофизиологическими особенностями водителей и пешеходов, скоростью реакций водителя, а также влиянием других факторов на параметры движения в рамках комплексной системы «водитель – автомобиль – дорога – среда».
4. Полученные значения параметров транспортных потоков могут быть использованы при определении пропускной способности нерегулируемых примыканий, оценке качества транспортного обслуживания и работы улично-дорожной сети.
5. Аналогичное исследование параметров движения транспортных потоков на нерегулируемых примыканиях в условиях города средней крупности планируется провести на примере г. Владикавказ.
6. Исследование параметров движения транспортных потоков в различных городах России позволит сформировать базу для комплексного подхода к оценке работы улично-дорожной сети.

### Благодарности

Работа подготовлена по результатам исследований, выполненных за счет средств федерального бюджета по государственному заданию (наименование темы научного исследования «Интеллектуальные системы управления развитием улично-дорожной сети городов»; код научной темы, присвоенной учредителем - FEEG-2024-0005.

### Acknowledgements

The work was prepared based on the results of research carried out at the expense of the federal budget according to the state assignment (the name of the research topic "Intelligent management systems for the development of the urban street and road network"; the code of the scientific topic assigned by the founder is FEEG-2024-0005.

### Список литературы/References

1. Alkhatib A. A., Maria K. A., Alzu'bi S., Maria E. A. Novel system for road traffic optimisation in large cities // IET Smart Cities. 2022. Vol. 4. Iss. 2. P. 143–155. DOI: 10.1049/smc2.12032.
2. Lopes A. S., Orozco-Fontalvo M., Moura F., Vale D. Mobility as a service and socio-territorial inequalities: A systematic literature review // Journal of Transport and Land Use. 2023. Vol. 16. Iss. 1. P. 215-240. DOI: 10.5198/jtlu.2023.2273.
3. Xing R., Fei W., Xiaoyu C., Ning C., Tao Y., Bo P. A Regional Road Network Capacity Estimation Model for Mountainous Cities Based on Auxiliary Map // Sustainability. 2023. Vol. 15. Iss. 14:11439. 27 P. DOI: 10.3390/su151411439.
4. Hensher D. A., Ho C. Q., Reck D. J. Mobility as a service and private car use: Evidence from the Sydney MaaS trial // Transportation Research Part A: Policy and Practice. – 2020. Vol. 145. P. 17-33. DOI: 10.1016/j.tra.2020.12.015.
5. Msaas B. Literature Review of Mobility as a Service. // Sustainability. 2022. Vol. 14. Iss. 14: 8962. DOI: 10.3390/su14148962.
6. Wong Y., Hensher D. A., Mulley C. Mobility as a service (MaaS): Charting a future context // Transportation Research Part A: Policy and Practice. 2020. Vol. 131. P. 5-19. DOI: 10.1016/j.tra.2019.09.030.
7. Михайлов А. Ю., Головных И. М. Современные тенденции проектирования и реконструкции улично-дорожных сетей городов. Новосибирск: Наука, 2004. 267 с. Mikhailov A. Yu., Golovnykh I. M. Modern trends in the design and reconstruction of urban street and road networks. Novosibirsk: Science publishing house, 2004. 267 p.
8. Dungar S., Pritikana D., Indrajit G. Conflict-Based safety evaluations at unsignalized intersections using surrogate safety measures. Heliyon. 2024. Vol. 10. Iss. 5. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e27665.
9. Goyan J., Ninad G., Shriniwas A. Crossing conflict models for urban un-signalized T-intersections in India // Transportation letters. 2024. Vol. 16. Iss. 8. P. 829-837. DOI: 10.1080/19427867.2023.2250161.
10. Luther P. J., Andri I. R., Mohamad T. The unsignaled intersection performance analysis of Arterial access road at Karawang barat 1 toll gate, West Java // Indonesian Journal of Multidisciplinary Science. 2023. Vol. 1. Iss. 1. P. 451-459. DOI: 10.55324/ijoms.v1i1.402.
11. Wu N., Brilon W. Some New Developments in Two-Way-Stop-Controlled Intersections Procedures and Recommendations for a Future Version of the Highway Capacity Manual // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 2021. Vol. 16. Iss. 9. DOI: 10.1177/03611981211007844
12. Николаева Р. В., Валиев Р. Ф. Безопасность дорожного движения, как мировая проблема // Техника и технология транспорта. 2022. Т. 3. Вып. 26. С. 3. URL: <http://transport-kgasu.ru/files/N26-03BDD322.pdf>.  
Nikolaeva R. V., Valiev R. F. Road safety as a global problem // Technique and technology of transport. 2022. Vol. 3. Issue. 26. P. 3. URL: <http://transport-kgasu.ru/files/N26-03BDD322.pdf>.

13. Николаева Р. В., Попова И. И. Современные системы для управления транспортными потоками // Техника и технология транспорта. 2022. Т. 2. Вып. 25. С. 16. URL: <https://transport-kgasu.ru/files/N25-16ITS222.pdf>.  
Nikolaeva R. V., Popova I. I. Modern systems for traffic flow management // Technique and technology of transport. 2022. Vol. 2. Issue 25. P. 16. URL: <https://transport-kgasu.ru/files/N25-16ITS222.pdf>.
14. Highway capacity manual. Washington, D.C.: TRB. 2016.
15. FGSV (Ed.) (2015b). Handbuch fGr die Bemessung von StraBenverkehrsanlagen (HBS), Edition 2015, (German Highway Capacity Manual) // Cologne: Forschungsgesellschaft fir Strajsen und Verkehrswesen (FGSV) (Road and Transport Association). 2015.
16. Raff M. S., Hart J. W. A Volume Warrant for Urban Stop Signs, Eno Foundation for Highway Traffic Control // Connecticut: Saugatuck, 1950.
17. Сервис Яндекс.Карты // maps.yandex.ru : сервис. 2015. URL: <https://maps.yandex.ru> (дата обращения: 01.12.2024).  
Yandex.Maps Service // maps.yandex.ru : service. 2015. URL: <https://maps.yandex.ru> (date of application: 12/01/2024).
18. Вавилова Г. В. Математическая обработка результатов измерения: учебное пособие // Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. 167 с.  
Vavilova G.V. Mathematical processing of measurement results: a textbook // Tomsk: Publishing House of Tomsk Polytechnic University, 2013. 167 p.

#### Информация об авторах

**Комарова Татьяна Константиновна**, кандидат технических наук, младший научный сотрудник молодежной лаборатории: «Интеллектуальные системы управления развитием улично-дорожной сети городов» СКГМИ (ГТУ), г. Владикавказ, Российская Федерация  
E-mail: [tatianakkom@gmail.com](mailto:tatianakkom@gmail.com), ORCID: 0009-0005-5711-4548

**Поспелов Павел Иванович**, доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник молодежной лаборатории: «Интеллектуальные системы управления развитием улично-дорожной сети городов» СКГМИ (ГТУ), г. Владикавказ, Российская Федерация  
E-mail: [pospelov@madi.ru](mailto:pospelov@madi.ru), ORCID: 0000-0002-0493-4957

**Мартяхин Дмитрий Сергеевич**, кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник молодежной лаборатории: «Интеллектуальные системы управления развитием улично-дорожной сети городов» СКГМИ (ГТУ), г. Владикавказ, Российская Федерация  
E-mail: [martiakhin@mail.ru](mailto:martiakhin@mail.ru), ORCID: 0000-0001-7322-5049

#### Information about the authors

**Tatiana K. Komarova**, Ph.D. in Engineering, Junior Research Scientist at the youth laboratory: "Intelligent management systems for the development of the urban street and road network" SKGMI (GTU), Vladikavkaz, Russian Federation  
E-mail: [tatianakkom@gmail.com](mailto:tatianakkom@gmail.com), ORCID: 0009-0005-5711-4548

**Pavel I. Pospelov**, Doctor of Technology, Professor, Principal Research Scientist at the youth laboratory: "Intelligent management systems for the development of the urban street and road network" SKGMI (GTU), Vladikavkaz, Russian Federation  
E-mail: [pospelov@madi.ru](mailto:pospelov@madi.ru), ORCID: 0000-0002-0493-4957

**Dmitry S. Martiakhin**, Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Senior Research Scientist at the Youth laboratory: "Intelligent management systems for the development of the urban street and road network" SKGMI (GTU), Vladikavkaz, Russian Federation  
E-mail: [martiakhin@mail.ru](mailto:martiakhin@mail.ru), ORCID: 0000-0001-7322-5049