

УДК 625.71:625.72

В. Н. Мячин, д-р техн. наук

К. С. Боровикова

Д. П. Кривцов

*Научно-исследовательский и проектный институт территориального развития
и транспортной инфраструктуры (ООО «НИПИ ТРТИ»)*

ОСОБЕННОСТИ КЛАССИФИКАЦИИ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ГРАФА ДОРОГ В ТРАНСПОРТНОЙ МОДЕЛИ

Построение транспортных моделей — актуальный инструмент решения различных транспортных проблем. В статье рассмотрен один из важных этапов создания транспортной модели — построение графа улично-дорожной сети. Представлены примеры разработанных авторами графов улично-дорожной сети городов. Особое внимание уделено особенностям классификации дорог при разработке графа. Проведен анализ нормативных документов, в соответствии с которыми присваивается класс дорогам и улицам в РФ. Предложены три способа разработки графа улично-дорожной сети. Более подробно излагаются способы построения графа с использованием данных об улично-дорожной сети из открытого картографического источника OSM. Обозначены основные проблемы применения каждого из способов. Главной проблемой названо несоответствие классификации автомобильных дорог из OSM с принятой в нормативной документации классификацией дорог РФ. Даны варианты упрощения построения графа улично-дорожной сети в транспортной модели.

Транспортное моделирование, улично-дорожная сеть, граф улично-дорожной сети, классификация улично-дорожной сети

DOI: 10.20295/2412-9186-2021-7-2-268-283

Введение

В наше время актуальность проблем, связанных с автомобильным транспортом, неоспорима. Развитие улично-дорожной сети (УДС) не соответствует постоянно увеличивающемуся уровню автомобилизации страны, опорная сеть дорог федерального значения не до конца сформирована, не все сельские населенные пункты связаны дорогами с твердым покрытием с сетью путей сообщения общего пользования и др. [1]. Ошибки в проектировании объектов транспортной инфраструктуры, разработке транспортных моделей, прогнозировании транспортных, пассажирских потоков приводят не только к экономическим потерям, но и к социальным [2]. Если дорога строится на основе ошибочно заложенных проектных решений, общество получает новую автомобильную связь, не отвечающую требованиям транспортного спроса. Потраченные средства на строительство магистрали не приводят к улучшению на загруженных участках УДС и не снижают заторы.

Единиц автотранспорта с каждым годом всё больше, вследствие чего усиливается негативное влияние на окружающую среду из-за вредных выбросов в атмосферу, повышенного уровня шума [3–9].

Возникает необходимость в разработке и обосновании новых проектов в сфере дорожного движения.

Для решения вышеуказанных проблем все чаще применяется транспортное моделирование. Оно является обязательным условием при разработке документов транспортного планирования (программы комплексного развития транспортной инфраструктуры, комплексные схемы организации транспортного обслуживания населения, комплексные схемы организации дорожного движения, проекты организации дорожного движения) [10–14].

Транспортная модель — основанное на компьютерных расчетах представление перемещений людей и товаров по транспортной сети в заданных границах изучаемой области, которая обладает определенными социально-экономическими характеристиками и землепользованием [15, 16]. Понятие транспортной модели, их разновидности, особенности и способы построения описаны в статьях зарубежных авторов [17–19].

Один из первых и важных этапов создания транспортной модели — разработка графа УДС [20, 21]. Он представляет собой математическое описание улично-дорожной сети рассматриваемой зоны и является основой для расчетов, построения маршрутов, анализа дорожной обстановки и решения транспортных задач [22].

В статье поставлены и решены следующие задачи:

- выявление и анализ особенностей классификации УДС при разработке графа автомобильных дорог в соответствии с нормативными документами, принятыми в РФ [16–18], и на основе данных о классификации автомобильных дорог из открытого картографического источника OSM (Open Street Map);
- определение достоинств и недостатков разных способов разработки графа УДС;
- формулировка рекомендаций по упрощению построения графа УДС.

1. Графы улично-дорожной сети

Граф УДС состоит из отрезков (участки дорог и улиц) и узлов (перекрестков). Для каждого отрезка с учетом направления движения задаются параметры: разрешенные для движения виды транспорта, количество полос движения, пропускная способность, максимально допустимая скорость и пр. [23, 24]. Для каждого узла задаются разрешенные маневры на полосах движения, задержки на поворотах, пропускная способность на поворотах, разрешенные для движения виды транспорта. Примеры разработанных авторами графов улично-дорожной сети городов представлены на рис. 1–3.

Для разработки графа УДС используются следующие способы:

- ручной;
- автоматизированный;
- комбинированный.

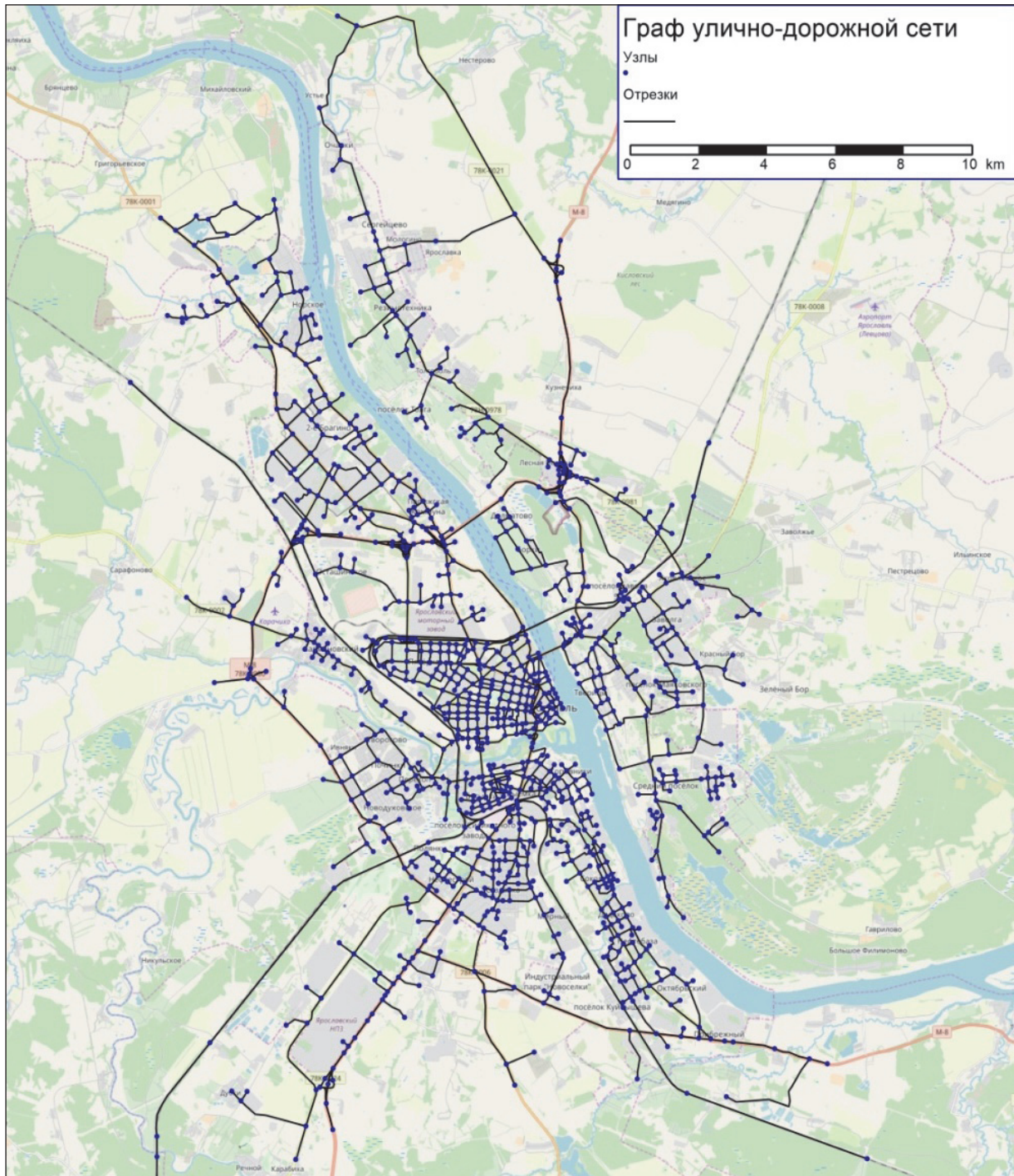


Рис. 1. Граф УДС Ярославля

2. Классификация автомобильных дорог РФ

При разработке графа УДС важным аспектом становится назначение класса автомобильной дороги. Выбор класса определяет такие параметры дороги, как пропускная способность, скоростной режим движения и др. Эти параметры влияют на результаты расчетов прогнозируемой интенсивности движения.

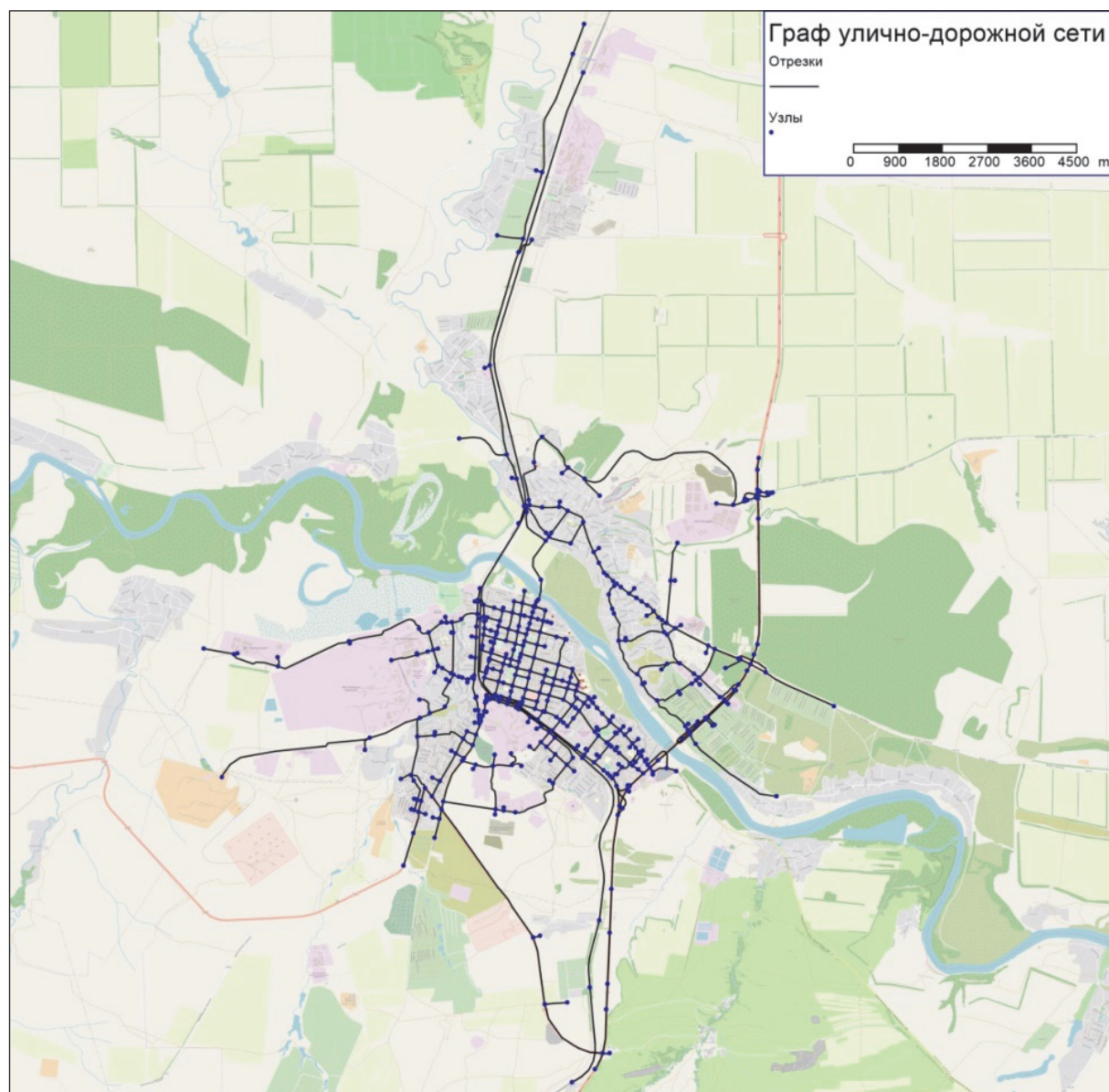


Рис. 2. Граф УДС Каменск-Шахтинского

В РФ классификация и категория автомобильных дорог и улиц принимается в соответствии с нормативными документами.

1. ГОСТ Р 52398–2005 «Классификация автомобильных дорог. Основные параметры и требования», 2006 [25].

Перечислены следующие классы автодорог:

- автомагистраль (IA);
- скоростная дорога (IB);
- дорога обычного типа (нескоростная дорога: IB, II, III, IV).

Для каждого класса автомобильных дорог приводятся технические характеристики:

- категория автомобильной дороги;

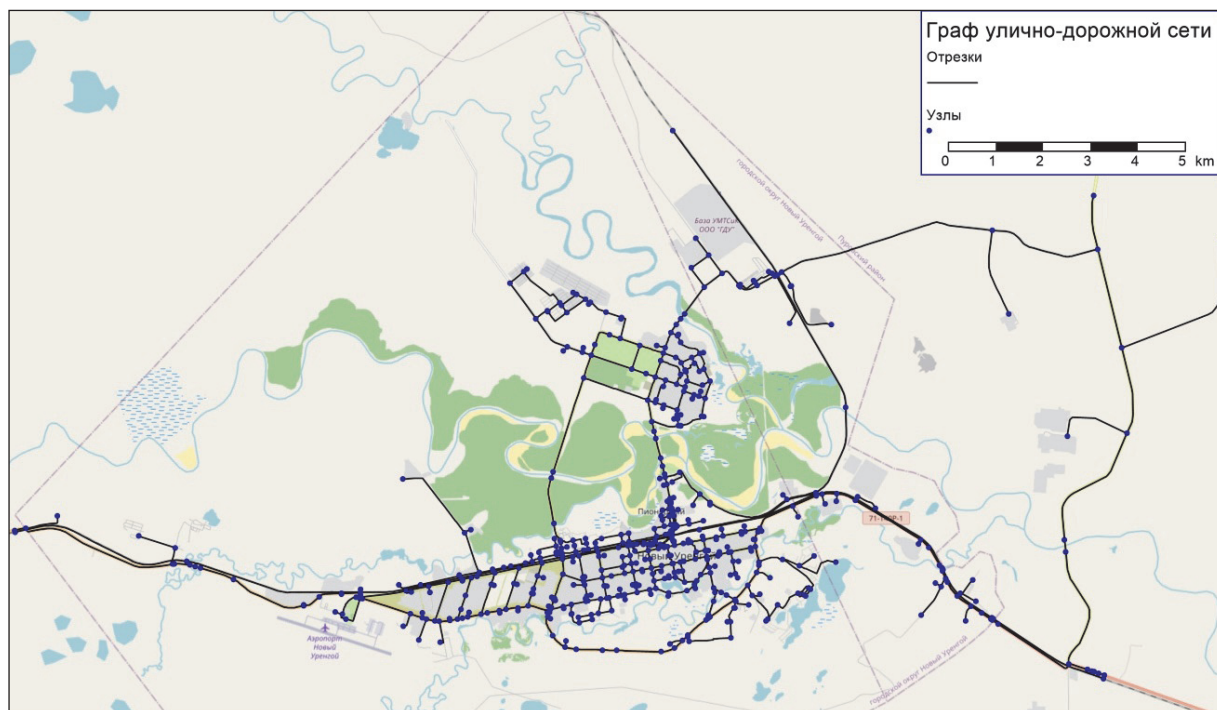


Рис. 3. Граф УДС Нового Уренгоя

- общее количество полос движения;
 - ширина полосы движения, м;
 - центральная разделительная полоса;
 - пересечения с автомобильными дорогами, велосипедными и пешеходными дорожками;
 - пересечения с железными дорогами и трамвайными путями;
 - доступ на дорогу с примыкания в одном уровне.
2. СП 34.13330.2012 «Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02–85*», 2013 [26].

Все автомобильные дороги подразделяются на шесть категорий: IA, IB, IB, II, III, IV.

В СП 34.13330.2012 отражены параметры элементов автодороги в зависимости от ее категории:

- общее число полос движения, шт.;
- ширина полосы движения, м;
- ширина обочины, м;
- ширина разделительной полосы, м;
- пересечение с автодорогами;
- пересечение с железными дорогами;
- доступ к дороге с примыкающей дороги в одном уровне.

В указанных нормативных документах подробно описаны параметры элементов внегородских автомобильных дорог. Городские дороги и улицы рас-

смаатриваются в документе СП 42.13330.2016 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений» [27]. Приведены категории дорог и улиц крупнейших, крупных и больших городов.

- Магистральные городские дороги:
 - 1-го класса — скоростного движения;
 - 2-го класса — регулируемого движения.
- Магистральные улицы общегородского значения:
 - 1-го класса — непрерывного движения;
 - 2-го класса — регулируемого движения;
 - 3-го класса — регулируемого движения.
- Магистральные улицы районного значения.
- Улицы и дороги местного значения:
 - улицы в зонах жилой застройки;
 - улицы в общественно-деловых и торговых зонах;
 - улицы и дороги в производственных зонах.
- Пешеходные улицы и площади.

Категорийность для средних и малых городов отличается тем, что городские дороги, улицы общегородского и районного значения не подразделяются на классы.

В СП 42.13330.2016 основное назначение дорог и улиц населенных пунктов дано в форме текстового описания, что позволяет интерпретировать каждую категорию.

Также содержатся такие основные параметры, как:

- расчетная скорость движения, км/ч;
- ширина полосы движения, м;
- число полос движения (суммарно в двух направлениях);
- наименьший радиус кривых в плане с виражом/без виража, м;
- наибольший продольный уклон, ‰;
- наименьший радиус вертикальной выпуклой кривой, м;
- наименьший радиус вертикальной вогнутой кривой, м;
- наименьшая ширина пешеходной части тротуара, м.

Многие категории в СП 42.13330.2016 отличаются друг от друга по расчетной скорости движения, при том что некоторые другие совпадают, например количество полос движения, ширина полосы. В условиях города, где разрешенная скорость не превышает 60 км/ч, на всех дорогах скорость движения одинаковая; могут совпадать и иные параметры. В таком случае неясно, к какой категории относится конкретная дорога.

Это может привести к неверному назначению категорий городских дорог и улиц, а затем к ошибкам при разработке транспортных моделей. Такой важный параметр, как пропускная способность автомобильной дороги, определяется неверно, что влечет за собой некорректное моделирование и расчет транспортных потоков [28, 29].

3. Разработка графа улично-дорожной сети и классификация улиц и дорог

При ручном способе разработки графа все параметры УДС задаются транспортным инженером с нуля, что не исключает влияния человеческого фактора и ведет к высоким трудозатратам. При таком способе разработки графа класс автомобильной дороги задается в соответствии с классификацией, представленной в нормативных документах РФ. При описанных выше проблемах класс может быть присвоен неверно.

При автоматизированном способе уже готовая сеть УДС загружается в программное обеспечение из открытых картографических источников [30, 31]. Пример экспортирования улично-дорожной сети города из открытого картографического источника OSM и дальнейшего импорта в специализированное ПО для моделирования транспортных потоков представлен на рис. 4–5. Базу данных OSM можно применять для упрощения такого этапа моделирования, как разработка графа УДС.

Комбинированный способ сочетает характеристики двух способов разработки графа: сеть загружается из открытых картографических источников и корректируется, дополняется вручную. Налицо плюсы ручного и автоматизированного способов разработки.

Комбинированный способ в разы быстрее.

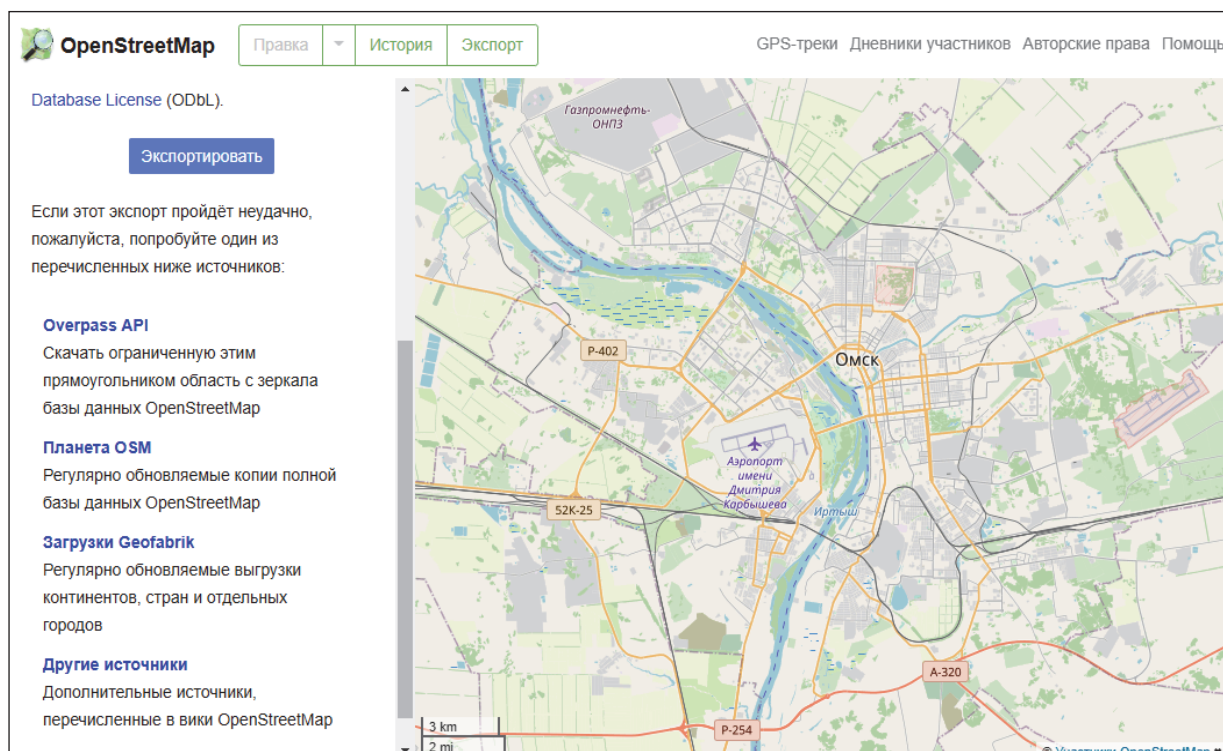


Рис. 4. Экспорт УДС Омска из OSM

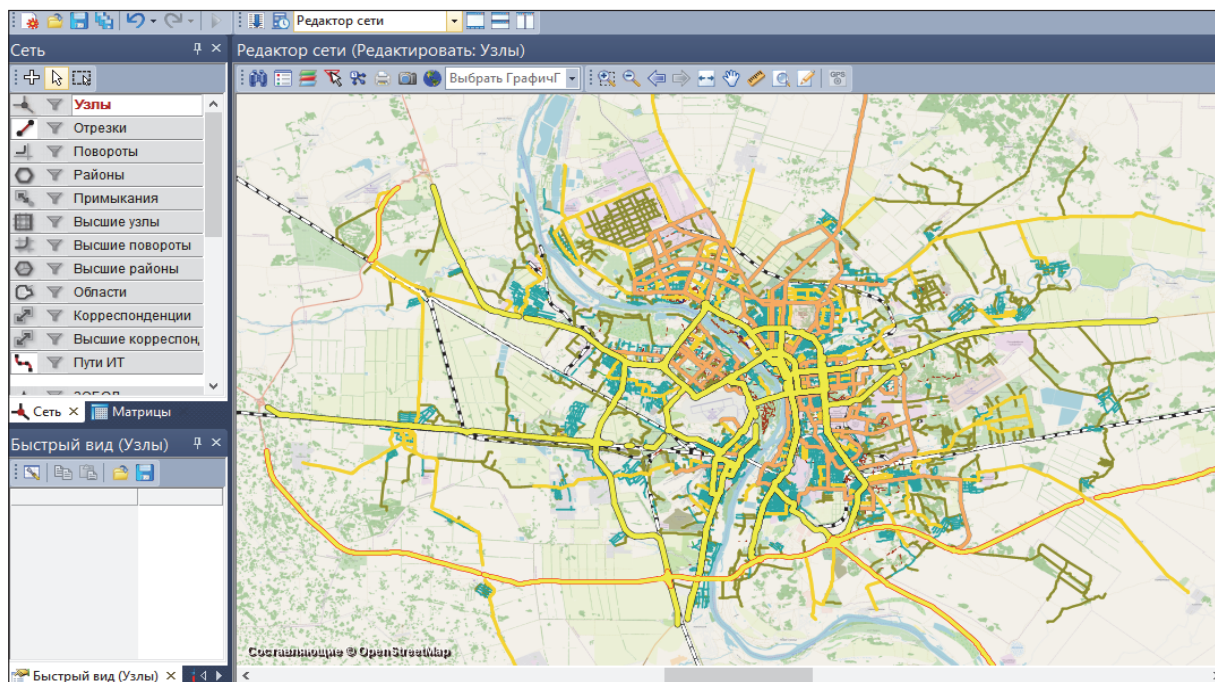


Рис. 5. Импорт УДС Омска в специализированное ПО для моделирования транспортных потоков

Причины сокращения временных затрат:

— импорт рассматриваемой зоны УДС в программное обеспечение занимает около часа (этап включает в себя выбор необходимой зоны для импортирования, сам импорт и временной запас на выполнение непредвиденных задач в связи с возникновением ошибок/неточностей);

— дальнейшая корректировка и уточнение данных занимают в среднем от двух до четырех недель (в зависимости от размера моделируемой территории), что превосходит по скорости ручной способ разработки графа.

Сравнить между собой способы разработки графа улично-дорожной сети поможет таблица.

Для реализации автоматизированного способа разработки графа сеть УДС может быть загружена из картографического сервиса с открытым предоставлением данных Open Street Map. Ниже представлены картографические классы в формате OSM:

1. Motorway (шоссе);
2. Trunk (магистраль);
3. Primary (первичный);
4. Secondary (вторичный);
5. Tertiary (третичный);
6. Residential (селитебный);
7. Service (обслуживающий);
8. Living street (жилые улицы).

Таблица 1. Достоинства и недостатки различных способов разработки графа УДС

Способ разработки графа УДС	Плюсы	Минусы
Ручной	Класс задается в соответствии с нормативными документами, принятыми в РФ	Человеческий фактор
	Выбирается нужная детализация УДС	Высокие временные и трудовые затраты
Автоматизированный	Исключен человеческий фактор при назначении класса	Класс задается в соответствии с классификацией, принятой в открытом картографическом источнике и отличающейся от принятой в РФ
	Наименьшие временные и трудовые затраты	Нет возможности выбрать нужную детализацию УДС
Комбинированный	Оптимальное соотношение затраченного на разработку времени и полученного результата	Класс задается в соответствии с классификацией, принятой в открытом картографическом источнике, с дальнейшим переходом к классификации, принятой в РФ
	Нужная детализация УДС задается в процессе корректировки загруженной сети	

Эта классификация отличается от принятой в РФ прежде всего тем, что в ее основе лежат не технические характеристики, а относительная важность дорог в УДС [32].

Например, класс primary включает автомобильные дороги регионального значения, соединяющие крупные города и/или областные центры, и дороги межрегионального значения. Если опираться на классификацию, описанную в нормативных документах РФ, данному классу могут соответствовать магистральные улицы городского значения непрерывного движения, магистральные улицы городского значения регулируемого движения, а также внегородские дороги.

Заключение

Сегодня не существует метода разработки графа улично-дорожной сети, который полностью исключал бы ошибки, вызванные влиянием человеческого фактора при минимальных временных затратах. Оптимальным является ком-

бинированный метод. Он осуществляется с меньшими затратами времени, чем ручной способ, но с большими, чем автоматизированный. В отличие от автоматизированного метода, назначение классов дорог производится согласно нормативной документации РФ, что опять же не исключает человеческого фактора.

В дальнейшем рациональным был бы полный переход к автоматизированному способу. Для этого нужно разработать метод автоматизированного перехода от классификации автомобильных дорог из OSM к принятой в нормативной документации РФ.

Необходимо упростить классификацию городских улиц и дорог в нормативных документах, сократив количество классов. Модернизированные документы будут удовлетворять потребностям транспортного моделирования, что значительно упростит и ускорит разработку транспортных моделей.

Возможны и альтернативные варианты. Это методика выявления соответствий параметров дорог для перехода от классификации из OSM к принятой в РФ. А также создание российской геоинформационной системы, аналога OSM, в которой будет использоваться классификация автомобильных дорог в соответствии с отечественными нормативными документами.

Библиографический список

1. Шуравина Е. Н. Проблемы современной транспортной системы России // Вестник Самарского государственного университета. – 2011. – № 9 (90). – С. 58–62.
2. Philippe Y. R. Sohounou, Panayotis Christidis, Aris Christodoulou, Luis A. C. Neves, Davide Lo Presti. Using a random road graph model to understand road networks robustness to link failures. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*. June, 2020.
3. Филиппова Р. В. Влияние автомобильного транспорта на изменение климата, экологию городов и здоровье населения // Перспективы развития транспортного комплекса: сб. трудов конференции. – Минск: БелНИИТ Транстехника, 2017. – С. 211–215.
4. Изменение климата и здоровье [Электронный ресурс]: инф. бюлл. ВОЗ, № 266 2016. Режим доступа: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs266/ru/> (дата обращения: 25.05.2020).
5. Давыдов М. В. Проблемы обеспечения безопасности движения пешеходов // Управление деятельностью по обеспечению безопасности дорожного движения: состояние, проблемы, пути совершенствования: журнал, № 1 (1); ОпЮИ МВД России имени В. В. Лукьянова. – 2018. – С. 142–147.
6. Гусев Е. С. Моделирование транспортных сетей как способ оптимизации улично-дорожного движения // Научный аспект. – 2013. – № 4. – С. 164–167.
7. Горюшинский В. С., Черникова И. Е., Милосердова И. С. Основные факторы и причины, влияющие на динамику аварийности на автомобильном транспорте // Современные научные исследования и разработки. – 2018. – № 12 (29). – С. 258–261.
8. Лазарев Ю. Г. Показатели обеспечения безопасности транспортных систем в интересах реальной экономики // СПбГЭУ. – 2018. – № 1 (43). – С. 61–65.
9. Liang Chen, Bin Sun, Haibo Wang, Qiaoru Li, Le Hu, Zixuan Chen. Forecast and control of traffic noise based on improved UE model during road network design. *Applied Acoustics*, 15 December 2020.

10. Правила подготовки документации по организации дорожного движения: утв. приказом Минтранса России от 26 декабря 2018 г. № 480.
11. Постановление Правительства РФ от 25 декабря 2015 г. № 1440 «Об утверждении требований к программам комплексного развития транспортной инфраструктуры поселений, городских округов».
12. Об утверждении Методики отбора проектов строительства (реконструкции) автомобильных дорог (участков автомобильных дорог и (или) искусственных дорожных сооружений), реализуемых субъектами Российской Федерации в рамках концессионных соглашений, для предоставления иных межбюджетных трансфертов в целях достижения целевых показателей региональных программ в сфере дорожного хозяйства, предусматривающих реализацию указанных проектов: утв. приказом от 01 августа 2016 года № 221.
13. Методические рекомендации по разработке документов транспортного планирования субъектов Российской Федерации: утв. протоколом заседания рабочей группы проектного комитета по национальному проекту «Безопасные и качественные автомобильные дороги» от 12.08.2019 № ИА-63.
14. Методические рекомендации по разработке и реализации мероприятий по организации дорожного движения «Использование программных продуктов математического моделирования транспортных потоков при оценке эффективности проектных решений в сфере организации дорожного движения» от 13.07.2017.
15. Руководство по применению транспортных моделей в транспортном планировании и оценке проектов. – СПб.: ООО «Издательско-полиграфическая компания “КОСТА”», 2016. – 128 с. (Серия «Библиотека транспортного инженера»).
16. Старцева А. А., Милина М. Ю., Тарусова М. С., Васильева В. В. Моделирование транспортной ситуации с помощью пакета программ PTV VISUM // Современные материалы, техника и технология: сб. науч. статей 9-й Международной научно-практической конференции (в 2 т.); под ред. А. А. Горохова. – ЮЗГУ. – 2019. – С. 271–275.
17. Algers, S., Daly, A. J., Kjellman, P. and Widlert, S. (1995) Stockholm model system: application. 7th World Conference on Transport Research, Sydney, July 1995, Australia.
18. Bates J. J., Gunn H. F. and Roberts M. (1978) A model of household car ownership. *Traffic Engineering and Control* 19, pp. 486–491, 562–566.
19. Bowman J. L. and Ben-Akiva M. E. (2001) Activity-based disaggregate travel demand model system with activity schedules. *Transportation Research* 35A, pp. 1–28.
20. Основы транспортного моделирования: практическое пособие / А. Э. Горев, К. Бёттгер, А. В. Прохоров, Р. Р. Гизатуллин (серия «Библиотека транспортного инженера»). – СПб.: ООО «Издательско-полиграфическая компания “КОСТА”», 2015. – 168 с., ил.
21. Сапрыкин О. Н., Сапрыкина О. В., Щербаков О. Д. Автоматизированная система построения графа улично-дорожной сети // Транспортные и логистические системы: проблемы и перспективы развития: сб. науч. статей под редакцией Т. И. Михеевой. – СГАУ. – 2014. – С. 109–112.
22. Braess D., Nagurney A. and Wakolbinger T. (2005) On a paradox of traffic planning. *Transportation Science* 39. – Pp. 446–450.
23. Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов: монография / М. Р. Якимов. – М.: Логос, 2013. – 188 с.
24. *Modelling transport*, Fourth Edition. Juan de Dios Ortuzar, Luis G. Willumsen. John Wiley and Sons, Ltd., Published 2011 by John Wiley and Sons, Ltd.
25. ГОСТ Р 52398–2005 Классификация автомобильных дорог. Основные параметры и требования, 2006.

26. СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02–85*, 2013.
27. СП 42.13330.2016 Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений, 2016.
28. Highway Capacity Manual 2000. – Transportation Research Board, National Research Council. – Washington, D. C., USA, 2000. – 1134 p.
29. Junqing Shi, Linwu Chen, Fengxiang Qiao, Lei Yu, Qing Li, Guilian Fan. Simulation and analysis of the carrying capacity for road networks using a grid-based approach. Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition), vol. 7, issue 4, August 2020. – Pp. 498–506.
30. Баранов Д. А. Получение данных об улично-дорожной сети из открытых источников // Транспортное планирование и моделирование: сб. тр. IV Международной научно-практической конференции [11–12 апреля 2019 г.]. – СПбГАСУ. – 2019. – С. 10–18.
31. Farhad Ahmadzai, K. M. Lakshmana Rao, Shahzada Ulfat. Assessment and modelling of urban road networks using Integrated Graph of Natural Road Network (a GIS-based approach). Journal of Urban Management, Issue 1, April 2019. – Pp. 109–125.
32. RU: Highway classification [Электронный ресурс]: OpenStreetMap Wiki. 2020. №266. Режим доступа: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/RU:Highway_classification (дата обращения: 27.05.2020).

*Статья представлена к публикации членом редколлегии Ефановым Д. В.
Поступила в редакцию 10.09.2020, принята к публикации 10.02.21*

МЯЧИН Валерий Николаевич — доктор технических наук, профессор, генеральный директор Научно-исследовательского и проектного института территориального развития и транспортной инфраструктуры (ООО «НИПИ ТРТИ») vmyachin@ipr.ru

БОРОВИКОВА Ксения Сергеевна — магистрант, инженер 1 категории Научно-исследовательского и проектного института территориального развития и транспортной инфраструктуры (ООО «НИПИ ТРТИ») kborovikova@ipr.ru

КРИВЦОВ Дмитрий Петрович — руководитель проектного направления транспортного моделирования, прогнозирования и организации дорожного движения Научно-исследовательского и проектного института территориального развития и транспортной инфраструктуры (ООО «НИПИ ТРТИ») dkrivtsov@ipr.ru

© Мячин В. Н., Боровикова К. С., Кривцов Д. П., 2021

V. N. Myachin, Dr. Sci. in Engineering
K. S. Borovikova
D. P. Krivtsov

*Research and Design Institute for Territorial Development and Transport Infrastructure
(LLC "NIPI TRTI")*

FEATURES OF THE CLASSIFICATION OF THE STREET-ROAD NETWORK WHEN CONSTRUCTING THE ROAD GRAPH IN THE TRANSPORT MODEL

Constructing transport models is a relevant tool for solving various transport problems. The article discusses one of the important stages of creating a transport model — building a graph of a street-road network. The examples of the graphs of the street-road network of cities developed by the authors are presented. Special attention is paid to the features of road classification when developing a graph. The analysis of normative documents, in accordance with which a class is assigned to roads and streets in the Russian Federation, is carried out. Three ways of developing a road network graph are proposed. Methods for constructing a graph using data on the street-road network from the open cartographic source OSM are described in more detail. The main problems of applying each of the methods are outlined. The main problem is the discrepancy between the classification of roads from the OSM and the classification of roads of the Russian Federation adopted in the regulatory documents. Variants of simplifying the construction of the road network graph in the transport model are suggested.

Traffic modeling, road network, road network graph, road network classification

DOI: 10.20295/2412-9186-2021-7-2-268-283

References

1. Shuravina E. N. (2011) Problemy sovremennoy transportnoy sistemy Rossii [Problems of the modern transport system of Russia]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Samara State University], no. 9 (90), pp. 58–62. (In Russian)
2. Sohounou Philippe Y. R., Christidis Panayotis, Christodoulou Aris, Neves Luis A. C., Lo Presti Davide (2020). Using a random road graph model to understand road networks robustness to link failures. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, June.
3. Filippova R. V. (2017) Vliyaniye avtomobil'nogo transporta na izmeneniye klimata, eko-logiyu gorodov i zdorov'ye naseleniya [Influence of automobile transport on climate change, urban ecology and population health]. *Perspektivy razvitiya transportnogo kompleksa: sb. trudov konferentsii* [Prospects for the development of the transport complex: conference proceedings]. BelNIIT Transtekhnika [Belarusian Research Institute of Transport "Transtekhnika"]. Minsk, pp. 211–215. (In Russian)
4. *Izmeneniye klimata i zdorov'ye: inf. byul. Vsemir. org. zdavookhraneniya* [Climate Change and Health: Fact Sheet of World Health Organization], № 266, 2016. URL: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs266/ru/> (accessed: May 25, 2020). (In Russian)
5. Davydov M. V. (2018) Problemy obespecheniya bezopasnosti dvizheniya peshekhodov [Problems of ensuring pedestrian traffic safety]. *Upravleniye deyatel'nost'yu po obespecheniyu bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya: sostoyaniye, problemy, puti sovershenstvovaniya* [Management of activities to ensure road safety: state, problems, ways of improvement], no. 1 (1);

- OrYUI MVD Rossii imeni V. V. Luk'yanova [Oryol Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation named after V. V. Luk'yanov], pp. 142–147. (In Russian)
6. Gusev E. S. (2013) Modelirovaniye transportnykh setey kak sposob optimizatsii ulichno-dorozhnogo dvizheniya [Modeling of transport networks as a way to optimize road traffic]. *Nauchnyy aspekt [Scientific aspect]*, no. 4, pp. 164–167. (In Russian)
 7. Goryushinskiy V. S., Chernikova I. E., Miloserdova I. S. (2018) Osnovnyye faktory i prichiny, vliyayushchiye na dinamiku avariynosti na avtomobil'nom transporte [The main factors and causes affecting the dynamics of road transport accidents]. *Sovremennyye nauchnyye issledovaniya i razrabotki [Modern research and development]*, no. 12 (29), pp. 258–261. (In Russian)
 8. Lazarev Yu. G. (2018) Pokazateli obespecheniya bezopasnosti transportnykh sistem v interesakh real'noy ekonomiki [Indicators of ensuring the safety of transport systems to the benefit of the real economy]. *SPbGEU [Saint Petersburg State University of Economics]*, no. 1 (43), pp. 61–65. (In Russian)
 9. Liang Chen, Bin Sun, Haibo Wang, Qiaoru Li, Le Hu, Zixuan Chen (2020). Forecast and control of traffic noise based on improved UE model during road network design. *Applied Acoustics*, 15 December.
 10. *Pravila podgotovki dokumentatsii po organizatsii dorozhnogo dvizheniya: utv. prikazom Mintransa Rossii ot 26 dekabrya 2018 g. [Rules for the preparation of documentation on the organization of traffic: approved. by order of the Ministry of Transport of Russia dated December 26, 2018]. № 480. (In Russian)*
 11. *Postanovleniye Pravitel'stva RF ot 25 dekabrya 2015 g. № 1440 «Ob utverzhdenii trebovaniy k programmam kompleksnogo razvitiya transportnoy infrastruktury poseleniy, gorodskikh okrugov» [Decree of the Government of the Russian Federation of December 25, 2015 No. 1440 “On approval of requirements for programs for the integrated development of transport infrastructure of settlements, urban districts”]. (In Russian)*
 12. *Ob utverzhdenii Metodiki otbora proyektov stroitel'stva (rekonstruktsii) avto-mobil'nykh dorog (uchastkov avtomobil'nykh dorog i (ili) iskusstvennykh dorozhnykh sooru-zheniy), realizuyemykh sub'yektami Rossiyskoy Federatsii v ramkakh kontsessionnykh soglashe-niy, dlya predostavleniya inykh mezhibyudzhethnykh transfertov v tselyakh dostizheniya tselevykh pokazateley regional'nykh programm v sfere dorozhnogo khozyaystva, predusmatrivayushchikh realizatsiyu ukazannykh proyektov: utv. prikazom ot 01 avgusta 2016 goda № 221 [On approval of the Methodology for the selection of projects for the construction (reconstruction) of auto-mobile roads (sections of highways and (or) artificial road structures), implemented by the constituent entities of the Russian Federation within the framework of concession agreements, for the provision of other interbudgetary transfers in order to achieve the target indicators of regional programs in the field of road facilities, providing for the implementation of these projects: approved. by order of August 01, 2016 No. 221]. (In Russian)*
 13. *Metodicheskiye rekomendatsii po razrabotke dokumentov transportnogo planirovaniya sub'yektov Rossiyskoy Federatsii: utv. protokolom zasedaniya rabochey gruppy proyekt-nogo komiteta po natsional'nomu projektu «Bezopasnyye i kachestvennyye avtomobil'nyye dorogi» ot 12.08.2019 № IA–63 [Guidelines for the development of transport planning documents for the constituent entities of the Russian Federation: approved. minutes of the meeting of the working group of the project committee on the national project “Safe and high-quality roads” dated 12.08.2019 No. IA-63]. (In Russian)*
 14. *Metodicheskiye rekomendatsii po razrabotke i realizatsii meropriyatiy po organizatsii dorozhnogo dvizheniya «Ispol'zovaniye programmnykh produktov matematicheskogo mo-*

- delirovaniya transportnykh potokov pri otsenke effektivnosti proyektnykh resheniy v sfere organizatsii dorozhnogo dvizheniya»* ot 13.07 2017 [*Methodological recommendations for the development and implementation of measures for the organization of traffic “Use of software products for mathematical modeling of traffic flows in assessing the effectiveness of design solutions in the field of traffic management”* dated July 13, 2017]. (In Russian)
15. *Rukovodstvo po primeneniyu transportnykh modeley v transportnom planirovanii i otsenke projektov* [Guidance on the application of transport models in transport planning and project evaluation]. Saint Petersburg, OOO «Izdatel'sko-poligraficheskaya kompaniya “KOSTA”» [LLC “Publishing and Printing Company “KOSTA””], 2016, 128 p. (Seriya «Biblioteka transportnogo inzhenera») [(Series “Library of Transport Engineers”)]. (In Russian)
 16. Startseva A. A., Milina M. Yu., Tarusova M. S., Vasil'yeva V. V. (2019) Modelirovaniye transportnoy situatsii s pomoshch'yu paketa programm PTV VISUM [Modeling the transport situation using the PTV VISUM software package]. *Sovremennyye materialy, tekhnika i tekhnologiya: sb. nauch. statey 9-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konfe-rentsii (v 2-kh tomakh)* pod redaktsiyey A. A. Gorokhova [Modern materials, equipment and technology: Proceedings of the 9th International Scientific and Practical Conference (in 2 volumes), ed. by A. A. Gorokhov], pp. 271–275. (In Russian)
 17. Algers S., Daly A. J., Kjellman P., Widlert S. (1995) Stockholm model system: application. *7th World Conference on Transport Research*, Sydney, July 1995, Australia.
 18. Bates J. J., Gumn H. F., Roberts M. (1978) A model of household car ownership. *Traffic Engineering and Control*, 19, pp. 486–491, 562–566.
 19. Bowman J. L., Ben-Akiva M. E. (2001) Activity-based disaggregate travel demand model system with activity schedules. *Transportation Research*, 35A, pp. 1–28.
 20. Gorev A. E., Böttger K., Prokhorov A. V., Gizatullin R. R. (2015) *Osnovy transportnogo modelirovaniya: Prakticheskoye posobiye* (seriya «Biblioteka transportnogo inzhenera») [Basics of transport modeling: A practical guide (series “Library of transport engineers”). Saint Petersburg, OOO «Izdatel'sko-poligraficheskaya kompaniya “KOSTA”» [LLC “Publishing and Printing Company “KOSTA””], 168 p., ill. (In Russian)
 21. Saprykin O. N., Saprykina O. V., Shcherbakov O. D. (2014) Avtomatizirovannaya sistema postroyeniya grafa ulichno-dorozhnoy seti [Automated system for constructing a graph of a street-road network]. *Transportnyye i logisticheskiye sistemy: proble-my i perspektivy razvitiya: sb. nauch. statey pod redaktsiyey T. I. Mikheyevoy* [Transport and logistics systems: problems and development prospects: a collection of scientific articles, ed. by T. I. Mikheeva], pp. 109–112. (In Russian)
 22. Braess, D., Nagurney, A., Wakolbinger, T. (2005) On a paradox of traffic planning. *Transportation Science*, 39, pp. 446–450.
 23. Yakimov M. R. (2013) *Transportnoye planirovaniye: sozdaniye transportnykh modeley gorodov* [Transport planning: creating transport models of cities]. Moscow, Logos Publ., 188 p. (In Russian)
 24. Juan de Dios Ortuzar, Luis G. Willumsen (2011). *Modelling transport*. 4th ed. John Wiley and Sons, Ltd. Publ.
 25. *GOST R 52398–2005 Klassifikatsiya avtomobil'nykh dorog. Osnovnyye parametry i trebovaniya*, 2006 [GOST R 52398–2005 Classification of highways. Basic parameters and requirements, 2006]. (In Russian)
 26. *SP 34.13330.2012 Avtomobil'nyye dorogi. Aktualizirovannaya redaktsiya SNI P* [SP 34.13330.2012 Automobile roads. Updated edition of Building regulations], 2.05.02–85*, 2013. (In Russian)

27. SP 42.13330.2016 *Gradostroitel'stvo. Planirovka i zastroyka gorodskikh i sel'skikh poseleniy* [SP 42.13330.2016 *Urban planning. Planning and development of urban and rural settlements*], 2016. (In Russian)
28. *Highway Capacity Manual* (2000). Transportation Research Board, National Research Council. Washington, D. C., USA, 1134 p.
29. Junqing Shi, Linwu Chen, Fengxiang Qiao, Lei Yu, Qing Li, Guilian Fan (2020). Simulation and analysis of the carrying capacity for road networks using a grid-based approach. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, vol. 7, iss 4, August, pp. 498–506.
30. Baranov D. A. (2019) Polucheniye dannykh ob ulichno-dorozhnoy seti iz otkrytykh istochnikov [Obtaining data on the street-road network from open sources]. *Transportnoye planirovaniye i modelirovaniye: sb. tr. IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* (11–12 aprelya 2019 g.) [*Transport planning and modeling: Proceedings of IV International Scientific and Practical Conference* (April 11–12, 2019)], pp. 10–18. (In Russian)
31. Farhad Ahmadzai, Lakshmana Rao K. M., Shahzada Ulfat (2019). Assessment and modeling of urban road networks using Integrated Graph of Natural Road Network (a GIS-based approach). *Journal of Urban Management*, iss. 1, April. pp. 109–125.
32. RU: Highway classification: OpenStreetMap Wiki. 2020. №266. URL: [https://wiki.openstreetmap.org/wiki/RU: Highway_classification](https://wiki.openstreetmap.org/wiki/RU:Highway_classification) (accessed: May 27, 2020).