

УДК 656.078, 656.001

С. А. Селиверстов

РАЗРАБОТКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ

Дата поступления: 06.04.2015

Решение о публикации: 07.09.2015

Цель: Обосновать актуальность развития показателей транспортной обеспеченности в масштабах страны, региона, города, района и городского квартала, позволяющих оценивать структурно-функциональную организацию транспортных систем. Представить обзор подходов к оценке транспортной обеспеченности городов и регионов. Предложить показатели, позволяющие проводить сравнительную оценку транспортной обеспеченности по видам транспорта. **Методы:** Используются методы системного анализа, методы относительной оценки транспортной обеспеченности территории, методы анализа данных. **Результаты:** Разработаны показатели оценки густоты сети с учетом количества транспортных средств и протяженности соответствующих транспортных коммуникаций, а также с учетом площади территории, количества транспортных средств и протяженности соответствующих транспортных коммуникаций. Представлены практические примеры, демонстрирующие сравнительную оценку транспортной обеспеченности согласно разработанным показателям. **Практическая значимость:** Разработанные показатели позволяют в масштабах страны, региона и города оценивать транспортную обеспеченность при изменении площади территории, протяженности транспортной сети, численности населения и количества транспортных средств по видам транспорта, а в масштабах городского квартала – интегральную транспортную доступность. В отличие от существующих методов данные показатели позволяют оценивать обеспеченность территории транспортными коммуникациями с учетом вида транспортных средств, тем самым позволяя проводить сравнительный анализ в границах транспортной обеспеченности.

Транспортная система, показатель транспортной обеспеченности, показатель густоты сети, показатель развития, транспортная сеть.

Svyatoslav A. Seliverstov, researcher, amuanator@rambler.ru (Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences) DEVELOPMENT OF INDICATORS OF TRANSPORT PROVISION

Objective: To justify currency of development of transport provision indicators on the national, regional, city, district and neighbourhood scale, allowing to evaluate structural and functional organisation of transport systems. To present an overview of approaches for evaluation of transport provision in regions and cities. To propose indices that allow to conduct comparative evaluation of transport provision by types of transport. **Methods:** Methods of systemic analysis, comparative evaluation of transport provision of territory, and data analysis methods were used. **Results:** Network density indicators were developed, taking into account the number of vehicles, length of corresponding transportation lines and territory surface area, number of vehicles and length of corresponding transportation lines. Practical examples demonstrating comparative evaluation of transport provision according to the developed indicators were presented. **Practical importance:** Indicators developed allow to evaluate transport provision on the national, regional and city scale when territory, length of transport lines, population numbers and number of vehicles by transportation types are altered, and on the urban neighbourhood scale integral transport accessibility can be evaluated. Unlike existing methods, these indicators allow to evaluate territorial

provision with transport lines taking transportation type into account, thus allowing for comparative analysis within transport provision framework.

Transport system, indicators of transport provision, density of network indicator by number of vehicles (mode of transport), development indicator by number of vehicles (mode of transport) and megalopolis area, transport network.

Сегодня городская транспортная система (ГТС) как часть антропогенной системы ресурсного обеспечения города гарантирует пространственное взаимодействие товаров, услуг и населения города, сокращая временные лаги, возникающие из-за необходимости преодолевать пространственные разрывы [1].

Посредством развитой ГТС жители города перемещаются к местам работы, учреждениям образования, здравоохранения, торговли и отдыха, имеют доступ к государственным учреждениям и сфере услуг.

Надлежащим образом сконструированная ГТС ускоряет транспортные и транспортно-логистические процессы, протекающие в городе, и как следствие – повышает уровень благосостояния транспортных компаний, работающих на рынке городских перевозок, торговых компаний и иных субъектов коммерческой деятельности, в статьи расходов которых входит услуга транспортировки [6, 13].

С другой стороны, нерационально спланированная и организованная ГТС не может в полной мере удовлетворить потребности пользователей транспортными услугами, усугубляет состояние финансово незащищенных групп населения, отражается на безопасности перевозок и несет повышенные издержки [16]. Снижение пропускной способности транспортных сетей может стать причиной дорожных заторов, аварий, что негативно скажется на разных сферах функционирования города.

Описанные проблемы более выражены в городских районах с высокими плотностью населения и концентрацией мест занятости.

По данным Международного энергетического агентства, сегодня на долю транспорта

приходится 23 % общего объема выбросов CO_2 , из которых 73 % генерируется автомобильным транспортом [26]. Это представляет серьезную проблему для энергетической безопасности и устойчивости стран и мира в целом, поэтому транспортный сектор считается одним из самых значительных источников неустойчивости в городских районах. Эта отрасль народного хозяйства вносит наибольший вклад в загрязнение окружающей среды. Нынешнее загрязнение воздуха влияет на здоровье жителей города. По данным [26], из-за загрязнения городской среды отходами транспорта в странах ЕС и в России происходит более 370 000 преждевременных смертей в год. Однако если основные характеристики ГТС надлежащим образом, качественно и количественно определены, то перечень проблем можно уменьшить [14, 20, 33].

Уровень эффективности функционирования ГТС, степень ее организации и мера пространственно-временной организованности протекающих в ней транспортных процессов определяются системой транспортных показателей, от качества которой напрямую зависит качество самой ГТС [18]. Следовательно, показатели функционирования, качества, эффективности и развития ГТС, а также протекающих в ней процессов должны быть взаимосвязаны, взаимозависимы и отражать сущность этих процессов [9, 17, 19].

Таким образом, разработка показателей эффективности актуальна, носит перспективный характер и позволяет на стадии проектирования ГТС заложить необходимые параметры функционирования последней, чему и посвящена данная статья. При этом предлагается сконцентрировать внимание на показателях транспортной обеспеченности города.

Анализ предметной области

Структурно-функциональный облик транспортной системы с учетом технико-экономических особенностей развития сетей путей сообщения по крупным географическим регионам и тенденций развития транспорта и перевозок исследуется в трудах С. С. Ушакова, Л. И. Василевского, при этом рассматриваемая система анализа включает относительные показатели развития транспорта, показатели развития сети путей сообщения по видам транспорта, относительные показатели плотности сетей путей сообщения и комплексные показатели обеспеченности территорий: коэффициент Энгеля, коэффициент Успенского [24]. Позже В. Г. Галабурда, В. А. Персианов, А. А. Тимошин предложили классификацию схем территориальной организации транспорта и его членение на иерархические уровни, разработали характеристические показатели транспортной обеспеченности и доступности, проанализировали статическую и динамическую подвижность населения, предложили показатели качества транспортного обслуживания по видам транспорта [2].

Организация систем функционирования и взаимодействия транспорта и перевозок в структуре обменных социально-экономических процессов позволила Г. А. Гольц подойти к решению вопросов взаимосвязанного развития транспорта и расселения. Затем В. В. Владимиров, Н. И. Наймарк, Г. В. Субботин сформировали планировочную структуру систем расселения и функционального зонирования, Фишельсон, Черепанов и И. А. Фомин спроектировали комплексные схемы транспорта в генеральных планах городов. Проблемы развития транспортной планировки города изучал Е. М. Лобанов. Он раскрыл методологические основы функционального зонирования города, организации дорожного движения и проектирования улично-дорожных сетей, при этом особое внимание уделил вопросам организации дорожной сети автомобильного транспорта и пешеходного движения с учетом технико-

экономической оценки. Позже А. Э. Горев, А. И. Солодкий и И. Н. Пугачев рассмотрели практические вопросы организации дорожного движения и определили характеристики транспортных и пешеходных потоков [3].

Транспортную систему города и региона с позиции жизнеобеспечения территории рассмотрел Э. А. Сафронов [8]. Анализируя схемы расселения и развитие городов, он утверждал, что транспортная сеть формирует планировочную структуру города, являясь ее каркасом. Наряду с М. С. Фишельсоном он выделил восемь геометризованных планировочных схем (ГПТ). Система показателей ГПТ по Сафронову включает показатель предлагаемой и удельной работы системы ГПТ, характеристику производительности и коэффициент полезного действия (КПД) системы ГПТ. В. М. Дубов с соавторами предложили на концептуальном уровне системный подход оценки свойств и ресурсной устойчивости транспортной системы в зависимости от иерархии организационных и функциональных структур [4].

Среди последних зарубежных работ интерес представляет публикация [27], содержащая структурированную систему показателей транспорта. Концепция доступности и ее развитие в системе транспортного планирования и повышения мобильности городского населения проанализирована в [31].

Постановка проблемы

Важнейшим стратегическим направлением развития транспортной системы, согласно Транспортной стратегии РФ до 2030 г., является сбалансированное развитие транспортной инфраструктуры. Реализация этого направления означает согласованное комплексное развитие всех ее элементов, включая городские транспортные коммуникации, такие как автомобильные, велосипедные и пешеходные дороги. Проведенный анализ свидетельствует, что существующие показатели транспортной обеспеченности, например, густота сети, ко-

эффицент Энгеля и другие рассчитываются лишь по данным эксплуатационной длины транспортной сети и численности населения в регионе.

Эти показатели не позволяют оценивать обеспеченность транспортными коммуникациями по видам транспорта.

Данная статья предлагает разработку необходимых показателей для анализа структурно-функционального развития ГТС с учетом протяженности городских транспортных сетей (по видам транспортных коммуникаций), количества транспортных средств (по видам транспорта) и общего числа жителей.

Разработка показателей

По результатам анализа представим наиболее используемые показатели оценки эффективности транспортных систем, а также впервые предложенные показатели (табл. 1).

Как видно из таблицы, предложенные показатели № 7 и 8 обладают формальной общностью с имеющимися показателями № 5 и 6, соответственно, однако функционально они различны, так как учитывают не количество жителей на исследуемой территории (№ 5 и 6), а количество транспортных средств и соответствующих им коммуникаций (№ 7 и 8). Та-

ТАБЛИЦА 1. Анализ показателей транспортной обеспеченности

№ п/п	Показатель	Ед. изм.	Обозначение, формула	Масштаб применения	Источник
1	Численность населения	чел.	H	Район, город, регион, страна	[2, 3, 24]
2	Площадь территории	км ²	S	Район, город, регион, страна	[2, 3, 24]
3	Наличие подвижного состава, функционирующего в городе (по видам транспорта)	ед.	N_{v_i}	Город, регион, страна	[2, 3, 24]
4	Эксплуатационная длина путей сообщения в городе (по видам транспорта)	км	L	Город, регион, страна	[2, 3, 24]
5	Густота сети	км/жит.	$d_{LH}, d_{LH} = \frac{L_i}{H}$ (I)	Город, регион, страна	[2, 24]
6	Коэффициент Энгеля	$\frac{\text{км}}{\sqrt[2]{\text{км}^2 \times (\text{жит.})}}$	$d_{LSH}, d_{LSH} = \frac{L_i}{\sqrt[2]{SH}}$ (II)	Город, регион, страна	[2, 24]
7	Густота сети с учетом количества тр. с. (I)	км/ед.т.с.	$d_{L_v N_v}, d_{L_v N_v} = \frac{L_v}{N_v}$ (I)	Городской квартал, район, город, регион, страна	Предложен впервые
8	Густота сети учетом площади, и численности тр. с. (II)	$\frac{\text{км}}{\sqrt[2]{\text{км}^2 \times (\text{ед.тр.с})}}$	$d_{L_v S N_v}, d_{L_v S N_v} = \frac{L_v}{\sqrt[2]{S N_v}}$ (II)	Городской квартал, район, город, регион, страна	Предложен впервые

ким образом, автомобильным дорогам будут соответствовать автомобильные транспортные средства, пешеходным дорогам – пешеходы.

Обоснование применения предложенных показателей для городского, регионального и государственного масштаба

Объединим в I группу показатель густоты сети с учетом количества жителей и показатель густоты сети с учетом количества транспортных средств, а во II группу – коэффициент Энгеля и показатель густоты сети с учетом площади территории и численности транспортных средств. Рассмотрим данные государственной статистики, описывающие изменения эффективности транспорта в России в 2000–2013 гг. [25]. В 2000–2010 гг. численность населения России устойчиво снижалась (табл. 2) при незначительном увеличении протяженности автомобильных дорог. С другой стороны, при устойчивом снижении численности населения в этот же период наблюдается устойчивый высокий рост численности автомобильных транспортных средств, который свидетельствует об ухудшении транспортной обеспеченности. Теперь рассмотрим, как данный процесс оценивают показатели I группы.

Динамика кривых, представленная на рис. 1, позволяет наблюдать, как в интервалах с 2000 по 2005 г. и с 2006 по 2010 г. коэффициент густоты сети автомобильных дорог с учетом числа жителей растет, что, казалось бы, говорит об общем положительном тренде развития транспортной обеспеченности. Однако в действительности имел место обратный процесс. Тренд предложенного коэффициента густоты сети с учетом численности автомобильных транспортных средств на этом же интервале, напротив, снижается, что говорит об ухудшении транспортной обеспеченности и подтверждается реальной ситуацией в транспортном комплексе России.

Таким образом, в условиях снижения численности населения и роста автотранспортных средств при оценке транспортной обеспеченности необходимо использовать не только коэффициент густоты сети с учетом численности населения, но и показатель густоты сети с учетом численности автомобильных транспортных средств.

Динамика кривых показателей II группы схожа с динамикой кривых I группы (рис. 2). В интервалах с 2001 по 2003 г. и с 2005 по 2007 г. тренд коэффициента Энгеля растет, а коэффициента густоты сети с учетом количества автомобильных транспортных средств и площади территории снижается (табл. 3).

Таким образом, в условиях, когда площадь оцениваемой территории постоянно при изменении протяженности сети, численности населения и количества автотранспортных средств, необходимо оценивать транспортную обеспеченность, используя не только коэффициент Энгеля, но и показатель густоты сети с учетом количества автомобильных транспортных средств и площади территории.

Для более достоверного анализа развития транспортной обеспеченности региона предлагаем при ее оценке использовать показатели I, и II групп.

Обоснование применения показателей транспортной обеспеченности при оценке транспортной доступности городского квартала

Согласно [32], транспортная доступность является одним из наиболее важных критериев, характеризующих качество городской среды, уровень транспортного обслуживания и мобильности городского населения. В [31] среди факторов, влияющих на транспортную доступность, названо наличие транспортных коммуникаций, а критерием оценки при этом выступают только протяженность и плотность автомобильных дорог в масштабах города.

ТАБЛИЦА 2. Статистика транспортной отрасли России в 2000–2013 гг.

Год	Численность населения, млн чел., N	Протяженность автомобильных дорог общего пользования, 1000 км, L	Число легковых автомобилей, млн шт., N_v	Коэффициент густоты сети, d_{LN}	I группа		II группа	
					Коэффициент густоты сети с учетом численности транспортных средств (ЧТС) (автомобилей), d_{LNa}	Коэффициент Энгеля, d_{LSH}	Коэффициент густоты сети с учетом ЧТС и площади территории, d_{LSNa}	
2000	145,2	532,4	20,353	3,66	26,16	1,91	0,90	
2001	146,3	537	21,232	3,67	25,296	1,92	0,89	
2002	145,2	541,1	22,468	3,72	24,086	1,93	0,87	
2003	145	544,2	23,383	3,75	23,276	1,94	0,86	
2004	144,3	546,4	24,208	3,78	22,576	1,95	0,85	
2005	143,8	530,5	25,57	3,69	20,746	1,92	0,80	
2006	143,2	597,3	26,794	4,17	22,29	2,04	0,88	
2007	142,8	624,2	29,405	4,37	21,22	2,09	0,88	
2008	142,8	629,1	32,021	4,40	19,64	2,10	0,85	
2009	142,7	646,9	33,084	4,53	19,55	2,13	0,86	
2010	142,8	664,6	34,354	4,65	19,34	2,16	0,87	
2011	142,9	727,7	36,415	5,10	19,98	2,25	0,92	
2012	143	925,2	38,792	6,47	23,85	2,54	1,14	
2013	143,3	984,6	41,428	6,87	23,76	2,62	1,17	

Примечание. Территория, S – 17 098 200 км².

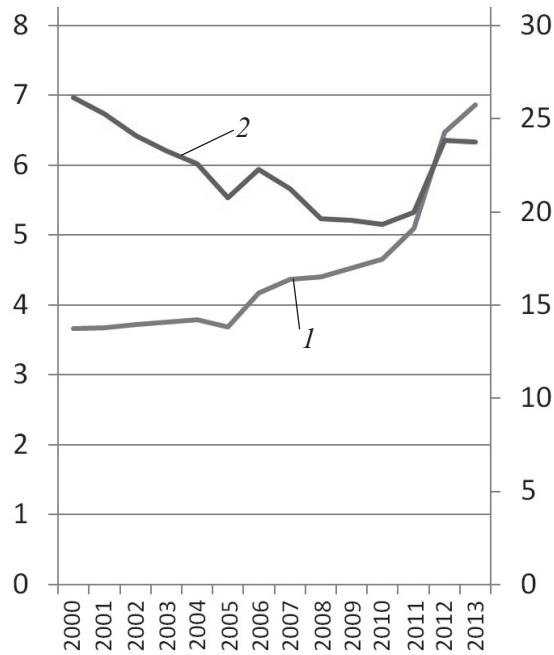


Рис. 1. Сравнение коэффициентов I группы:
1 – коэффициент густоты сети;
2 – коэффициент густоты сети с учетом численности транспортных средств (ЧТС) (автомобилей)

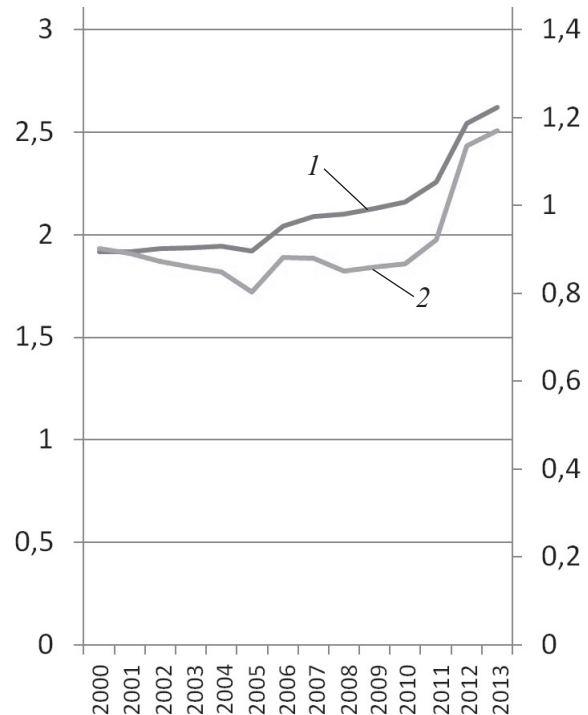


Рис. 2. Сравнение коэффициентов II группы:
1 – коэффициент Энгеля; 2 – коэффициент густоты сети с учетом ЧТС и площади территории

ТАБЛИЦА 3. Направление трендов показателей I и II группы в 2000–2013 гг.

Показатель	2000–2001	2001–2002	2002–2003	2003–2004	2004–2005	2005–2006	2006–2007	2007–2008	2008–2009	2009–2010	2010–2011	2011–2012	2012–2013
d_{LH}	↑	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
d_{LNa}	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↑	↑	↓
d_{LSH}	↓	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
d_{LSNa}	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑

В свою очередь, базовым инфраструктурным элементом организации планировочной структуры города является городской квартал (ГК), определяемый как планировочная единица застройки в границах красных линий, ограниченная магистральными или жилыми улицами. Упорядоченная в территориальных границах города сеть ГК формирует каркас города и определяет конфигурацию уличной дорожной сети, а также ее структурные и функциональные особенности, включая

наличие автомобильных, велосипедных и пешеходных дорог, их геометрические характеристики (например, протяженность), метрические (например, пропускную способность) и физические (например, скорость транспортных средств).

Выделение велосипедного транспорта как самостоятельного с предоставлением ему обособленной транспортной велосипедной коммуникации обусловлено данными статистики [5, 29].

Из рис. 3 видно, что темпы производства велосипедов на конец 2010 г. превышают темпы производства автомобилей в 3 раза.

Из рис. 4 видно, что, во-первых, доля поездок во всех перемещениях на 100 жителей в странах Европы и США лежит в интервале от 90 до 40; во-вторых, в среднем каждый житель Европы и каждый 10-й житель США на конец 2010 г. имел велосипед.

Последнее обстоятельство обуславливает включение в структуру городского квартала велосипедной транспортной составляющей наряду с пешеходной и автомобильной.

Таким образом, уровень обеспеченности ГК надлежащими транспортными коммуникациями определяет в дальнейшем уровень транспортной доступности и города в целом.

В настоящий момент отсутствуют интегральные показатели транспортной обеспеченности, позволяющие связать геометрические характеристики ГК, количество жителей, виды транспортных средств и их численность с соответствующими транспортными коммуникациями и оценивать транспортную обеспеченность.

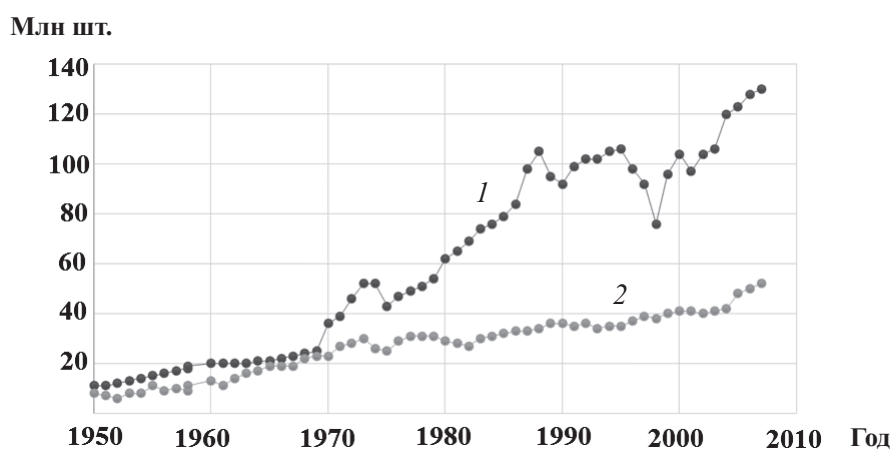


Рис. 3. Мировое производство велосипедов (1) и автомобилей (2)

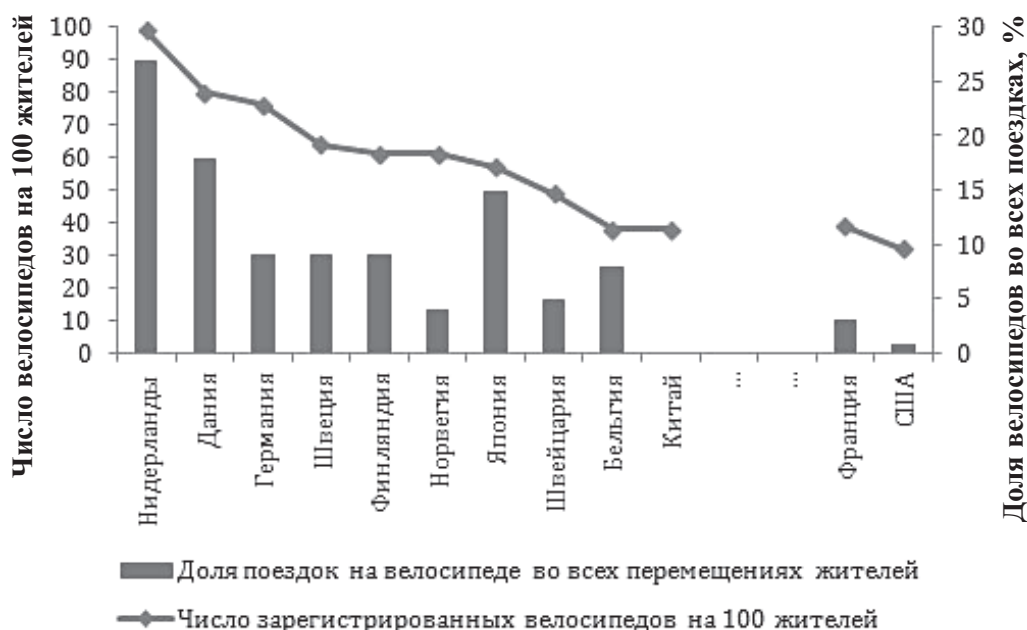


Рис. 4. Доля велосипедного транспорта в городских перемещениях

Для решения этой проблемы предлагается использовать показатель густоты сети с учетом количества транспортных средств, площади и численности транспортных средств, а также снижения размерности масштаба (рис. 5).

Поскольку до сих пор не проработана научная база, регламентирующая с различных сторон (социально-психологических, экологических, транспортных и др.) размеры транспортной составляющей (пешеходные, велосипедные, автомобильные дороги и парковочное пространство) в границах ГК, невозможно качественно определить эталонные значения предлагаемых показателей для сравнительной оценки, поэтому предлагаем рассмотреть формальный пример расчета экспериментальных сравнительных значений для предлагаемых показателей транспортной обеспеченности и этим обоснуем их работу.

Формальная разработка экспериментальных сравнительных значений для показателей транспортной обеспеченности городского квартала

Рассмотрим пример формирования сравнительных характеристик для прямоуголь-

ного ГК. Предлагается заложить следующие исходные условия. Минимальный и максимальный размер периметра ГК примем исходя из общемировой практики градостроительства от 316 м в таких городах, как Портленд, Хьюстон и Сакраменто, и до 2000 м – в разрабатываемом линейном городе [7]. Количество жителей предлагается ограничить величиной 6000 чел. как максимальную величину для ГК США [30]. Исходя из подходов транспортной доступности, пешеходные, велосипедные и автомобильные дороги должны располагаться по периметру ГК. Ширину пешеходной и велосипедной полосы примем согласно [23], ширину и количество автомобильных полос (проезжей части) – согласно [22]. Представим расчетные характеристики прямоугольного ГК, условные обозначения и расчетные формулы для определения экспериментально-сравнительных значений предлагаемых показателей транспортной обеспеченности в табл. 4.

Таким образом, если расчетное значение показателей транспортной обеспеченности выше или равно сравнительному значению, то уровень транспортной доступности в рамках предлагаемых показателей соответствует норме. Если меньше сравнительного, требуются улучшения.

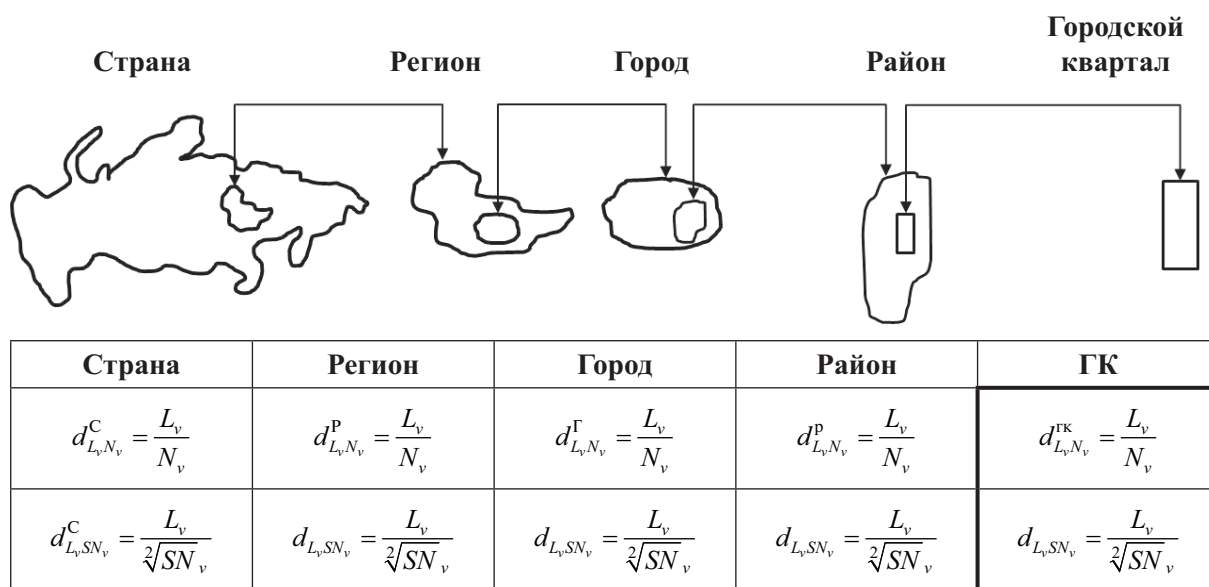


Рис. 5. Применение показателей транспортной обеспеченности

ТАБЛИЦА 4. Расчет сравнительных значений показателей транспортной обеспеченности

Расчетная характеристика	Условное обозначение	Расчет сравнительного значения
Периметр городского квартала (без учета транспортных коммуникаций), м	П	300–2000
Количество жителей, чел.	Н	До 6000
Ширина пешеходной полосы, м	W_h	3
Ширина велосипедной полосы, м	W_b	2,2
Ширина проезжей части, м	W_a	3,5
Количество полос, шт.	–	3
Протяженность пешеходной полосы, м	L_H	П + 24
Протяженность велосипедной полосы, м	L_b	П + 42
Протяженность проезжей части, м	L_a	3 П + 196
Показатель густоты сети с учетом количества пешеходов	$d_{L_p N_p}^{\ominus}$	$d_{L_p N_p}^{\ominus} = \frac{П + 24}{H}$
Показатель густоты сети с учетом числа велосипедистов	$d_{L_b N_b}^{\ominus}$	$d_{L_b N_b}^{\ominus} = \frac{П + 42}{0,3H}$
Показатель густоты сети с учетом количества автомобильных ТРС	$d_{L_a N_a}^{\ominus}$	$d_{L_a N_a}^{\ominus} = \frac{3П + 196}{H}$
Показатель густоты сети с учетом площади городского квартала и количества пешеходов	$d_{L_p S N_p}^{\ominus}$	$d_{L_p S N_p}^{\ominus} = \frac{П + 24}{\sqrt[2]{S H}}$
Показатель густоты сети с учетом площади городского квартала и количества велосипедистов	$d_{L_b S N_b}^{\ominus}$	$d_{L_b S N_b}^{\ominus} = \frac{П + 42}{\sqrt[2]{S \cdot 0,3H}}$
Показатель густоты сети с учетом площади городского квартала и количества автомобильных ТРС	$d_{L_a S N_a}^{\ominus}$	$d_{L_a S N_a}^{\ominus} = \frac{3П + 196}{\sqrt[2]{S \cdot H}}$

Поясним на примере процедуру оценки транспортной обеспеченности ГК с использованием предложенных показателей.

Рассмотрим стандартный ГК планировочной структуры Нью-Йорка в районе Бруклина на пересечении улиц 5-я стрит, 4-я стрит, 8-я авеню, Проспект Парк Вест (рис. 6).

Рассматриваемый квартал имеет прямоугольную планировочную форму. Транспортная составляющая включает наличие пешеходных, велосипедных и автомобильных дорог. При этом пешеходные и автомобильные дороги располагаются по периметру ГК.

Планировочную структуру ГК зададим согласно [30], численность жителей, количество автомобилей и количество велосипедистов – согласно [28]. Параметры ГК представим в табл. 5.

Рассчитаем сравнительные показатели густоты сети с учетом количества транспортных средств и протяженности соответствующих коммуникаций:

$$d_{L_p N_p}^{\ominus} = \frac{П + 24}{H} = \frac{610 + 24}{5400} = 0,117, \text{ м/ед.};$$

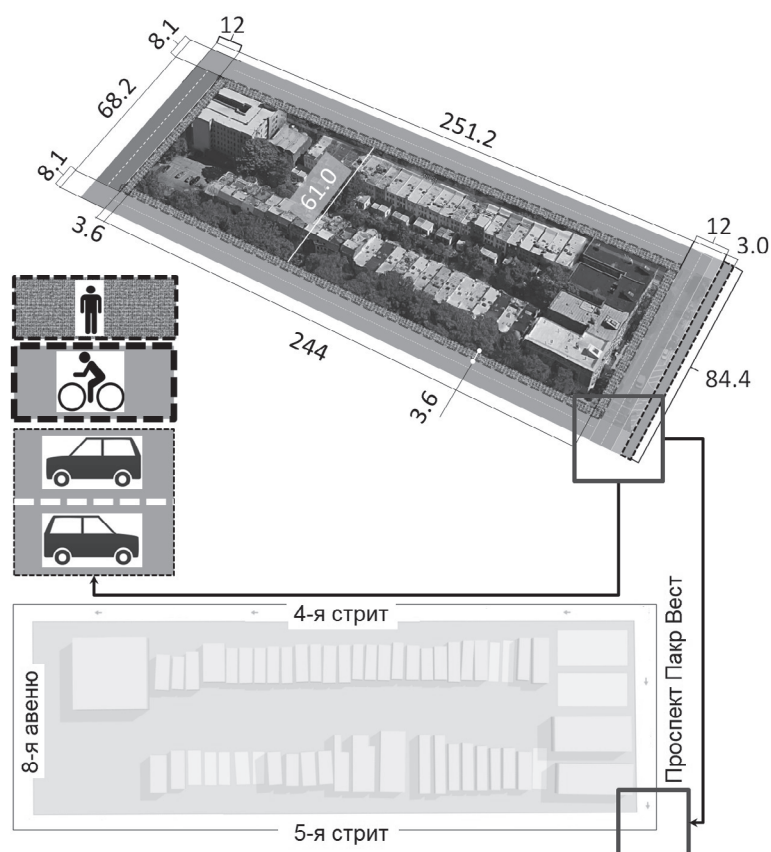


Рис. 6. Стандартный городской квартал, Бруклин, Нью-Йорк

ТАБЛИЦА 5. Параметры ГК

Характеристика городского квартала	Значение
Общая площадь, S_0 , м ²	23 480,1
Периметр без учета транспортных коммуникаций Π , м	610
Численность жителей H_p , чел.	5400
Численность автомобилей H_a , ед.	3078
Численность велосипедов H_b , ед.	1738
Эксплуатационная длина автомобильных дорог L_a , м	2013,6
Эксплуатационная длина велосипедных дорог L_b , м	168,8
Эксплуатационная длина пешеходных дорог L_p , м	624,4

$$d_{L_b N_b}^{\text{Э}} = \frac{\Pi + 42}{0,3H} = \frac{610 + 42}{0,3 \cdot 5400} = 0,4, \text{ м/ед.};$$

$$d_{L_a N_a}^{\text{Э}} = \frac{3\Pi + 168}{H} = \frac{1830 + 168}{5400} = 0,375, \text{ м/ед.}$$

Рассчитаем сравнительные показатели густоты сети с учетом площади ГК, количества транспортных средств и протяженности соответствующих коммуникаций:

$$d_{L_p, SN_p}^{\text{Э}} = \frac{\Pi + 24}{\sqrt[2]{SH}} = \frac{610 + 24}{\sqrt[2]{23480,1 \cdot 5400}} = 0,056;$$

$$d_{L_b, SN_b}^{\text{Э}} = \frac{\Pi + 42}{\sqrt[2]{S \cdot 0,3H}} = \frac{610 + 42}{\sqrt[2]{23480,1 \cdot 0,3 \cdot 5400}} = 0,1;$$

$$d_{L_a, SN_a}^{\text{Э}} = \frac{3\Pi + 196}{\sqrt[2]{S \cdot H}} = \frac{1830 + 196}{\sqrt[2]{23480,1 \cdot 5400}} = 0,17.$$

Рассчитаем реальные показатели густоты сети с учетом количества транспортных средств и протяженности соответствующих коммуникаций:

$$d_{L_p, H_p} = \frac{L_p}{H_p} = \frac{624,4}{5400} = 0,12, \text{ м/ед.};$$

$$d_{L_b, H_b} = \frac{L_b}{H_b} = \frac{168,8}{1738} = 0,1, \text{ м/ед.};$$

$$d_{L_a, H_a} = \frac{L_a}{H_a} = \frac{2013,6}{3078} = 0,654, \text{ м/ед.}$$

Рассчитаем реальные показатели густоты сети с учетом площади ГК, количества транспортных средств и протяженности соответствующих коммуникаций:

$$d_{L_p, SH_p} = \frac{L_p}{\sqrt[2]{SH_p}} = \frac{624,4}{\sqrt[2]{23408,1 \cdot 5400}} = 0,05;$$

$$d_{L_b, SH_b} = \frac{L_b}{\sqrt[2]{SH_b}} = \frac{168,8}{\sqrt[2]{23408,1 \cdot 1738}} = 0,026;$$

$$d_{L_a, SH_a} = \frac{L_a}{\sqrt[2]{SH_a}} = \frac{2013,6}{\sqrt[2]{23480,1 \cdot 3078}} = 0,24.$$

Сравним экспериментальные и реальные значения показателей (табл. 6).

Таким образом, транспортная обеспеченность ГК по предложенным показателям имеет наибольшее значение для автомобильного транспорта и наименьшее – для велосипедного, соответствует допустимым значениям – только для пешеходного и автомобильного транспорта.

ТАБЛИЦА 6. Сравнение экспериментальных и реальных показателей

Показатель	Сравнительное значение	Реальное значение	Вывод
Показатель густоты сети с учетом количества пешеходов	0,117	0,12	Соответствуют допустимому
Показатель густоты сети с учетом числа велосипедистов	0,4	0,1	Требуется улучшение
Показатель густоты сети с учетом количества автомобильных транспортных средств	0,375	0,654	Соответствуют допустимому
Показатель густоты сети с учетом площади городского квартала и количества пешеходов	0,056	0,05	Соответствуют допустимому
Показатель густоты сети с учетом площади городского квартала и количества велосипедистов	0,1	0,026	Требуется улучшение
Показатель густоты сети с учетом площади городского квартала и количества автомобильных транспортных средств	0,17	0,24	Соответствуют допустимому

Выводы

Впервые предложенные показатели позволяют оценивать транспортную обеспеченность в масштабах страны, регионального и городского развития при изменении площади территории, протяженности транспортной сети, численности населения и количества транспортных средств по видам транспорта, а в масштабах городского квартала – оценивать интегральную транспортную доступность. Данная группа показателей выгодно отличается от существующих, поскольку позволяет оценивать обеспеченность территории транспортными коммуникациями с учетом вида транспортных средств, следовательно, проводить сравнительный анализ в границах транспортной обеспеченности.

Однако отсутствие сравнительных значений предлагаемых показателей в масштабах района и городского квартала и качественных принципов их определения не позволяет в настоящее время использовать данные коэффициенты при оценке их транспортной доступности, что ставит новые научные задачи для таких научных направлений, как урбанистика и городская логистика.

Предложенный подход можно обобщить для оценки транспортной обеспеченности города в целом и включить в программные пакеты транспортного моделирования [10, 15].

Тенденции развития современных городов на принципах, изложенных в [11, 12, 21], свидетельствуют о росте разнообразия видов транспортных средств и транспортных коммуникаций, следовательно, актуальность предложенного анализа приобретает исключительный характер.

Библиографический список

1. Белый О. В. Проблемы построения и развития транспортных систем / О. В. Белый. – СПб. : Элмор, 2012. – 192 с.
2. Галабурда В. Г. Единая транспортная система: учеб. для вузов / В. Г. Галабурда, В. А. Персианов,

А. А. Тимошин и др. ; под ред. В. Г. Галабурды. – М. : Транспорт, 1999. – 302 с.

3. Горев А. Э. Организация дорожного движения / А. Э. Горев, А. И. Солодкий, И. Н. Пугачев. – М. : Академия, 2013. – 240 с.

4. Дубов В. М. Проблематика сложных систем (концептуальные основы модельных представлений) / В. М. Дубов, Т. И. Капустянская, С. А. Попов, А. А. Шаров ; под общ. ред. С. А. Попова. – СПб. : Элмор, 2006. – 184 с.

5. Исследование рынка велосипедов в России. – URL : http://www.velomania.ru/2013/11/01/print:page,1,issledovanie_rynka_velosipedov_v_rossii_ch1.html.

6. Кокаев О. Г. О технологии анализа транспортных процессов в современных условиях хозяйствования / О. Г. Кокаев, О. Ю. Лукомская, С. А. Селиверстов // Транспорт РФ. – 2012. – № 2 (39). – С. 30–34.

7. Линейный город SkyWay в Абу-Даби. – URL : http://rsw-systems.com/assets/files/lineinii_gorog_v_abu_dabi.pdf.

8. Сафронов Э. А. Транспортные системы городов и регионов : учеб. пособие / Э. А. Сафронов. – М. : АСВ, 2005. – 272 с.

9. Селиверстов С. А. Методы и алгоритмы интеллектуального анализа процесса организации транспортной системы / С. А. Селиверстов // Вестн. гос. ун-та мор. и реч. флота им. Адм. С. О. Макарова. – 2014. – № 2 (24). С. 92–100.

10. Селиверстов С. А. Моделирование транспортных потоков мегаполиса с вводом новых видов водного внутригородского пассажирского транспорта / С. А. Селиверстов, Я. А. Селиверстов // Вестн. гос. ун-та мор. и реч. флота им. Адм. С. О. Макарова. – 2015. – № 2 (30). – С. 69–80.

11. Селиверстов С. А. О методе оценки эффективности организации процесса дорожного движения мегаполиса / С. А. Селиверстов, Я. А. Селиверстов // Вестн. транспорта Поволжья. – 2015. – № 2 (50). – С. 91–96.

12. Селиверстов С. А. О построении интеллектуальной системы организации и развития транспортной системы мегаполиса / С. А. Селиверстов, Я. А. Селиверстов // Науч.-техн. ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2015. – Вып. 2/3 (217/222). – С. 139–161.

13. Селиверстов С. А. Основы теории бесконфликтного непрерывного транспортного процесса движения / С. А. Селиверстов, Я. А. Селиверстов // *Науковедение*. – 2014. – № 3. – С. 122.
14. Селиверстов Я. А. Использование правила резолюций в вопросно-ответной процедуре транспортного планировщика / Я. А. Селиверстов // *Вестн. гос. ун-та мор. и реч. флота им. Адм. С. О. Макарова*. – 2013. – № 1 (20). – С. 145–152.
15. Селиверстов Я. А. Моделирование процессов распределения и развития транспортных потоков в мегаполисах / Я. А. Селиверстов // *Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ»*. – 2013. – № 1. – С. 43–50.
16. Селиверстов Я. А. О логико-алгебраическом представлении транспортно-логистического процесса / Я. А. Селиверстов, С. А. Селиверстов // *Науч.-техн. ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление*. – 2014. – Вып. 200. – С. 57–68.
17. Селиверстов Я. А. О построении модели классификации межагентных отношений социально-экономического поведения городского населения в системах управления транспортными потоками мегаполиса / Я. А. Селиверстов // *Науковедение*. – 2014. – № 5. – С. 188.
18. Селиверстов Я. А. Основы теории субъективных функциональных возможностей рационального выбора / Я. А. Селиверстов // *Науковедение*. – 2014. – № 4. – С. 90.
19. Селиверстов Я. А. Особенности построения системы городского транспортно-логистического мониторинга / Я. А. Селиверстов, С. А. Селиверстов, А. Л. Стариченков // *Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ»*. – 2015. – № 1. – С. 29–36.
20. Селиверстов Я. А. Построение моделей управления городскими транспортными потоками в условиях неопределенности внешней информационной среды / Я. А. Селиверстов, А. Л. Стариченков // *Науч.-техн. ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление*. – 2014. – Вып. 6 (210). – С. 81–94.
21. Селиверстов Я. А. Формальная аксиоматика теории функционального субъективного потребительского поведения / Я. А. Селиверстов, С. А. Селиверстов // *Науч.-техн. ведомости СПбГПУ. Экономические науки*. – 2014. – Вып. 4 (199). – С. 34–48.
22. СНиП 2.05.02-85* «Автомобильные дороги».
23. СНиП 2.07.01-89* «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений».
24. Ушаков С. С. Транспортная система мира / С. С. Ушаков ; под ред. С. С. Ушакова, Л. И. Василевского. – М. : Транспорт, 1971. – 216 с.
25. Федеральная служба государственной статистики. – URL : http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/transport.
26. CO₂ Emissions from fuel combustion. IEA statistics. Int. Energy Agency. – HIGHLIGHTS, 2014. – P. 138.
27. Denne T. Blueprint for a best practice measurement indicator set and benchmarking / T. Denne, R. Irvine, A. Schiff, C. Sweetman. – NZ Transp. Agency res. rep. 522, 2013. – 147 p.
28. Department of City Planning. – URL : nyc.gov/html/dcp/home.html.
29. International Road Traffic and Accident Database (IRTAD). – URL : <http://www.internationaltransportforum.org/Irtadpublic/index.html>.
30. Firley E. The Urban Housing Handbook / E. Firley, C. Stahl. – Hoboken, NJ : Wiley, 2009. – 328 p.
31. Litman T. Evaluating Accessibility for Transportation Planning. Measuring People's Ability to Reach Desired Goods and Activities / T. Litman. – 2015. – 56 p.
32. Litman T. Measuring Transportation: Traffic, Mobility and Accessibility / T. Litman // *ITE J.* – 2003. – Vol. 73, N 10. – P. 28–32. – URL : www.vtpi.org/measure.pdf.
33. Zito P. Toward an urban transport sustainability index: an European comparison / P. Zito, G. Salvo // *Eur. Transp. Res. Rev.* – 2011. – N 3. – P. 179–195. DOI 10.1007/s12544-011-0059-0.

References

1. Belyy O. V. Problemy postroyeniya i razvitiya transportnykh sistem [Problems in Building and Development of Transport Systems]. St. Petersburg, Elmor, 2012. 192 p.
2. Galaburda V.G., Persianov V.A., Timoshin A.A. et al. Yedinaya transportnaya sistema [Single Transport

- System]. Coursebook for universities, ed. V. G. Galaburda. Moscow, Transport, 1999. 302 p.
3. Gorev A. E., Solodkiy A. I. & Pugachev I. N. Organizatsiya dorozhnogo dvizheniya [Road Traffic Organisation]. Moscow, Akademiya, 2013. 240 p.
 4. Dubov V. M., Kapustyanskaya T. I., Popov S. A. & Sharov A. A. Problematika slozhnykh sistem (kontseptualnyye osnovy modelnykh predstavleniy) [Complex System Problematics (Conceptual Framework of Model Representations), ed. S. A. Popov. St. Petersburg, Elmor, 2006. 184 p.
 5. Issledovaniye rynka velosipedov v Rossii [Study of the Russian Bicycle Market], available at: http://www.velomania.ru/2013/11/01/print:page,1,issledovanie_rynka_velosipedov_v_rossii_ch1.html.
 6. Kokayev O. G., Lukomskaya O. Yu. & Seliverstov S. A. *Transport RF – Transport of the Russian Federation*, 2012, no. 2 (39), pp. 30-34.
 7. Lineynnyy gorod SkyWay v Abu-Dabi [SkyWay Linear City in Abu Dhabi], available at: http://rsw-systems.com/assets/files/lineinii_gorog_v_abu_dabi.pdf.
 8. Safronov E. A. Transportnyye sistemy gorodov i regionov [Urban and Regional Transport Systems]. Study guide. Moscow, ASV, 2005. 272 p.
 9. Seliverstov S. A. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni Admirala S. O. Makarova – Bull. Admiral Makarov State Univ. Maritime and Inland Shipping*, 2014, no. 2 (24), pp. 92-100.
 10. Seliverstov S. A. & Seliverstov Ya. A. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni Admirala S. O. Makarova – Bull. Admiral Makarov State Univ. Maritime and Inland Shipping*, 2015, no. 2 (30), pp. 69-80.
 11. Seliverstov S. A. & Seliverstov Ya. A. *Vestnik transporta Povolzhya – Volga Region Transport Bull.*, 2015, no. 2 (50), pp. 91-96.
 12. Seliverstov S. A. & Seliverstov Ya. A. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU. Informatika. Telekommunikatsii. Upravleniye. – Sci. and Tech. Rep. of the Peter the Great St Petersburg Polytechnic Univ. Informatics. Telecommunications. Management*, 2015, Is. 2/3 (217/222), pp. 139-161.
 13. Seliverstov S. A. & Seliverstov Ya. A. *Naukovedeniye – Science Studies*, 2014, no. 3, pp. 122.
 14. Seliverstov Ya. A. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni Admirala S. O. Makarova – Bull. Admiral Makarov State Univ. Maritime and Inland Shipping*, 2013, no. 1 (20), pp. 145-152.
 15. Seliverstov Ya. A. *Izvestiya SPbGETU “LETI” – Bull. St. Petersburg Electrotechnical Univ. “LETI”*, 2013, no. 1, pp. 43-50.
 16. Seliverstov Ya. A. & Seliverstov S. A. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU. Informatika. Telekommunikatsii. Upravleniye. – Sci. and Tech. Rep. of the Peter the Great St. Petersburg Polytechnic Univ. Informatics. Telecommunications. Management*, 2014, Is. 200, pp. 57-68.
 17. Seliverstov Ya. A. *Naukovedeniye – Science Studies*, 2014, no. 5, pp. 188.
 18. Seliverstov Ya. A. *Naukovedeniye – Science Studies*, 2014, no. 4, pp. 90.
 19. Seliverstov Ya. A., Seliverstov S. A. & Starichenkov A. L. *Izvestiya SPbGETU “LETI” – Bull. St. Petersburg Electrotechnical Univ. “LETI”*, 2015, no. 1, pp. 29-36.
 20. Seliverstov Ya. A. & Starichenkov A. L. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU. Informatika. Telekommunikatsii. Upravleniye. – Sci. and Tech. Rep. of the Peter the Great St. Petersburg Polytechnic Univ. Informatics. Telecommunications. Management*, 2014, Is. 6 (210), pp. 81-94.
 21. Seliverstov Ya. A. & Seliverstov S. A. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU. Ekonomicheskkiye nauki – Sci. and Tech. Rep. of the Peter the Great St. Petersburg Polytechnic Univ.*, 2014, Is. 4 (199), pp. 34-48.
 22. SNiP 2.05.02-85* Avtomobilnyye dorogi [Motorways].
 23. SNiP 2.07.01-89* Gradostroitelstvo. Planirovka i zastroyka gorodskikh i selskikh poseleniy [Urban Planning. Designing and Building Urban and Rural Settlements].
 24. Ushakov S. S. *Transportnaya sistema mira [World Transport System]*, ed. S. S. Ushakov, L. I. Vasilevskiy. Moscow, Transport, 1971. 216 p.
 25. Federalnaya sluzhba gosudarstvennoy statistiki [Federal Service for State Statistics], available at: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/transport.
 26. CO₂ Emissions from fuel combustion. IEA statistics. Int. Energy Agency. HIGHLIGHTS, 2014. P. 138.

27. Denne T., Irvine R., Schiff A. & Sweetman C. Blueprint for a best practice measurement indicator set and benchmarking. NZ Transp. Agency res. rep. 522, 2013. 147 p.
28. Department of City Planning, available at: nyc.gov/html/dcp/home.html.
29. International Road Traffic and Accident Database (IRTAD), available at: <http://www.international-transportforum.org/Irtadpublic/index.html>.
30. Firley E. & Stahl C. The Urban Housing Handbook. Hoboken, NJ, Wiley, 2009. 328 p.
31. Litman T. Evaluating Accessibility for Transportation Planning. Measuring People's Ability to Reach Desired Goods and Activities. 2015. 56 p.
32. Litman T. Measuring Transportation: Traffic, Mobility and Accessibility. *ITE J.*, 2003, Vol. 73, no. 10, pp. 28–32, available at: www.vtpi.org/measure.pdf.
33. Zito P. & Salvo G. Toward an urban transport sustainability index: an European comparison. *Eur. Transp. Res. Rev.*, 2011, no. 3, pp. 179-195. DOI 10.1007/s12544-011-0059-0.

СЕЛИВЕРСТОВ Святослав Александрович – научный сотрудник, amuanator@rambler.ru (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук).