

Н. В. Булычева

старший научный сотрудник Санкт-Петербургского экономико-математического института РАН

Н. А. Калужный

аспирант Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета

Л. А. Лосин

канд. техн. наук, заведующий лабораторией Санкт-Петербургского экономико-математического института РАН

МОДЕЛИ РАЗМЕЩЕНИЯ ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНЫХ УЗЛОВ ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА

Введение

В мировой практике интеграция рельсового транспорта с другими видами городского пассажирского транспорта является основой для создания удобной транспортной сети, базисной опорой которой являются транспортно-пересадочные узлы (ТПУ). Ярким отечественным примером такой интеграции служит опыт эксплуатации МЦК (Московского Центрального Кольца), который показал высокую эффективность применения ТПУ.

Особую актуальность вопрос необходимости научного обоснования размещения ТПУ в городах приобрел с внесением понятия «транспортно-пересадочный узел» в Градостроительный кодекс РФ. В отечественной и мировой науке вопросы формирования и функционирования ТПУ стали широко исследоваться с 1960–1970-х гг. Теоретическая основа исследований включает в себя труды таких ученых, как А. А. Агасьянц, З. В. Азаренкова, А. П. Артынов, Д. Н. Власов, Ф. П. Кочнев, Н. В. Левадная, Л. А. Лосин, А. Ю. Михайлов, М. Л. Петрович, М. А. Пиир, Д. С. Самойлов, В. П. Федоров, М. С. Фишельсон.

В Санкт-Петербурге к настоящему моменту принят ряд документов, определяющих направления развития ТПУ. Согласно Стратегии развития транспортной системы, организация удобных пересадочных комплексов является одним из основных приоритетов транспортной политики в целях обеспечения устойчивого развития территорий. При этом возникает ряд вопросов, которые необходимо проработать для детализации подходов к размещению ТПУ:

- методы выбора мест размещения ТПУ на территории агломерации;
- оценка социально-экономической эффективности транспортной системы города, включающей ТПУ.

В данной работе будут рассмотрены подходы к решению этих вопросов.

Методика выбора мест размещения транспортно-пересадочных узлов

В настоящей работе авторы предлагают методику, позволяющую определить приоритетность мест размещения транспортно-пересадочных узлов на базе метрополитена или железнодорожных станций пригородного сообщения. Многие работы (Азаренкова, 2011, с. 93; Власов, 2013; Пиир, 1970, с. 1) посвящены обоснованию этих видов транспорта как ТПУ-образующих.

Описываемая методика опирается на работы зав. лабораторией Санкт-Петербургского экономико-математического института РАН В. П. Федорова, который разработал ряд математических моделей для исследования функционально-пространственного развития крупных городов (Экономико-математические исследования, 2015; Федоров, 1974, с. 17–26; Федоров и др., 2009, с. 18–25), в частности для прогнозирования пассажиропотоков. В разработанном под его руководством информационно-программном комплексе применяется *двухэтапная схема* формирования пассажирских и транспортных потоков. На первом этапе рассчитываются матрицы межрайонных корреспонденций, на втором этапе корреспонденции распределяются по сети городского пассажирского транспорта. Основной содержательной предпосылкой описываемой модели расчета пассажиропотоков является следующая гипотеза: выбор участниками движения пути следования определяется, в основном, затратами времени на передвижение и осуществляется последовательным выбором в каждой промежуточной вершине направления движения, обеспечивающего минимальные затраты времени. Причем этот выбор всякий раз производится без согласования с другими участниками.

В нашем исследовании определяющим фактором, влияющим на очередность формирования ТПУ, является величина пересадочного пассажиропотока. Однако чтобы понять, какие из существующих станций в первую очередь претендуют на роль ТПУ-образующих, были проведены серии расчетов с различными значениями времени посадки (пересадки) на метро или железную дорогу.

Предполагается, что экономическая эффективность ТПУ зависит от величины и стабильности спроса (это гипотеза для последующих выборов). Сравнительный анализ величины пересадочного пассажиропотока в зависимости от затрат времени на посадку (пересадку) является способом определения эффективных ТПУ.

Особое внимание следует уделить тому, что в предлагаемой серии расчетов матрица корреспонденций рассчитывается один раз при условии стандартных интервалов (затрат времени на вход) на станциях метрополитена и железной дороги, т.е. предполагается, что население не меняет районы тяготения в зависимости от работы транспорта, а только меняет маршрут движения. Иначе говоря, на первом этапе рассчитывается матрица корреспонденций, на втором этапе только эта матрица распределяется с учетом задаваемых задержек в узлах.

Для сравнительного анализа на дугах графа транспортной сети создавались искусственные задержки на вход на станции: для метрополитена в диапазоне от 3 до 30 мин. (от 3 до 15 мин. с шагом 2 мин), для железнодорожного транспорта задержки составляли 10, 20, 40 и 110 мин.). Это позволило классифицировать станции по востребованности в зависимости от затрат времени на ожидания, чтобы выявить ряд узлов, претендующих на роль ТПУ (табл. 1–3).

Таким образом, одним из критериев выборки является коэффициент влияния величины задержки на размер пассажиропотока:

$$K_{\text{пасс.30}} = \frac{x_{30}}{x_3};$$

где x_3 и x_{30} — значения величины пассажиропотока в эксперименте при крайних значениях задержки на метро и на пригородной железной дороге.

Значение такого критерия — оценка зависимости изменения пассажиропотока от затрат времени. Этот критерий введен для решения поставленной задачи: классифицировать станции по степени зависимости от величины потока. Данный коэффициент также является показателем устойчивости (востребованности при сложившемся расселении) узла, т.е. станций со значительным, максимально

стабильным потоком, на базе которых целесообразно формирование транспортно-пересадочных узлов (табл. 1–2).

Следует отметить, что в качестве пассажиропотока узла рассматривается сумма всех пассажиропотоков на посадках/высадках и пересадках, включая посадку/высадку на наземный общественный транспорт.

Таблица 1

Сводная таблица коэффициентов влияния величины задержек на размер входного (б) и выходного (а) пассажиропотока узлов

а)

Название станции	$K_{\text{пасс}}$	
	при задержках метро	при задержках ж. д.
Нарвская	0,71	0,98
Площадь Ленина	0,71	0,90
Площадь Восстания	0,86	0,96
Черная речка	0,82	0,99
Выборгская	0,77	0,99
Садовая	0,85	1,01
Невский проспект	0,84	1,04
Горьковская	0,88	1,00
Петроградская	0,71	1,02
Василеостровская	0,85	0,94
Спортивная	0,86	0,98
Адмиралтейская	0,82	1,01

б)

Название станции	$K_{\text{пасс}}$	
	при задержках метро	при задержках ж. д.
Проспект Ветеранов	0,40	0,70
Академическая	0,54	1,13
Гражданский проспект	0,72	0,73
Купчино	0,58	0,84
Пионерская	0,63	0,92
Проспект Просвещения	0,63	1,06
Приморская	0,53	0,98
Ладожская	0,30	1,00
Проспект Большевиков	0,43	1,03
Улица Дыбенко	0,54	0,99
Комендантский проспект	0,70	0,95
Международная	0,52	1,17

Решив аналогичную задачу для станций пригородной железной дороги, с учетом задержек на вход 10, 20, 40 и 110 мин., мы сможем определить приоритетные места формирования ТПУ ЖД (табл. 2).

Таблица 2

Сводная таблица коэффициентов влияния величины задержек на размер входного (б) и выходного (а) пассажиропотока узлов

а)

Название станции	K _{пасс}	
	При задержках метро	При задержках ж. д.
Витебский вокзал	1,19	0,62
Балтийский вокзал	1,15	0,64
Броневая	1,00	0,35
Старый Петергоф	1,00	0,64

б)

Название станции	K _{пасс}	
	При задержках метро	При задержках ж. д.
Лисий Нос	0,99	0,97
Купчино	0,76	1,00
Ораниенбаум I	1,00	0,76
Ладожская	0,70	1,19

Таблица 3

Сводная таблица потенциально значимых узлов

№ п/п	Название станции	K _{пасс}		Виды транспорта, взаимодействующие в узле
		при задержках метро	при задержках ж. д.	
1	Нарвская	0,71	0,98	метрополитен ↔ НГПТ
2	Площадь Ленина	0,71	0,90	Ж. д. ↔ метрополитен ↔ личный а/м ↔ НГПТ
3	Площадь Восстания	0,86	0,96	Ж. д. ↔ метрополитен ↔ личный а/м ↔ НГПТ
4	Черная речка	0,82	0,99	метрополитен ↔ НГПТ
5	Выборгская	0,77	0,99	метрополитен ↔ НГПТ
6	Садовая	0,85	1,01	метрополитен ↔ НГПТ
7	Невский проспект	0,84	1,04	метрополитен ↔ НГПТ
8	Горьковская	0,88	1,00	метрополитен ↔ НГПТ
9	Петроградская	0,71	1,02	метрополитен ↔ НГПТ
10	Василеостровская	0,85	0,94	метрополитен ↔ НГПТ
11	Спортивная	0,86	0,98	метрополитен ↔ НГПТ
12	Адмиралтейская	0,82	1,01	метрополитен ↔ НГПТ
13	Проспект Ветеранов	0,40	0,70	метрополитен ↔ НГПТ
14	Академическая	0,54	1,13	метрополитен ↔ НГПТ
15	Гражданский проспект	0,72	0,73	метрополитен ↔ личный а/м ↔ НГПТ
16	Пионерская	0,63	0,92	метрополитен ↔ НГПТ
17	Проспект Просвещения	0,63	1,06	метрополитен ↔ личный а/м ↔ НГПТ
18	Приморская	0,53	0,98	метрополитен ↔ НГПТ
19	Проспект Большевиков	0,43	1,03	метрополитен ↔ НГПТ
20	Улица Дыбенко	0,54	0,99	метрополитен ↔ НГПТ

Окончание табл. 3

№ п/п	Название станции	К _{пасс}		Виды транспорта, взаимодействующие в узле
		при задержках метро	при задержках ж. д.	
21	Комендантский проспект	0,70	0,95	метрополитен ↔ НГПТ
22	Международная	0,52	1,17	метрополитен ↔ НГПТ
23	Витебский вокзал	1,19	0,62	Ж. д. ↔ метрополитен ↔ личный а/м ↔ НГПТ
24	Балтийский вокзал	1,15	0,64	Ж. д. ↔ метрополитен ↔ личный а/м ↔ НГПТ
25	Броневая	1,00	0,35	Ж. д. ↔ личный а/м ↔ НГПТ
26	Старый Петергоф	1,00	0,64	Ж. д. ↔ личный а/м ↔ НГПТ
27	Лисий Нос	0,99	0,97	Ж. д. ↔ личный а/м ↔ НГПТ
28	Купчино	0,76	1,00	Ж. д. ↔ метрополитен ↔ личный а/м ↔ НГПТ
29	Ораниенбаум I	1,00	0,76	Ж. д. ↔ личный а/м ↔ НГПТ
30	Ладожская	0,70	1,19	Ж. д. ↔ метрополитен ↔ личный а/м ↔ НГПТ

Итак, с помощью предложенной методики было выявлено 30 *потенциально значимых узлов* (табл. 3), в которых пассажиропоток значителен и постоянен («устойчивые» станции). Величина коэффициентов влияния величины задержки времени на пересадочный пассажиропоток может быть использована как один из факторов приоритетности формирования ТПУ.

Экономическая эффективность работы городского пассажирского транспорта

Проведенные расчеты при разных величинах задержки на посадке (пересадке) на скоростной транспорт позволили оценить экономическую эффективность работы пассажирского транспорта. Сводные таблицы изменения основных характеристик работы пассажирского транспорта в зависимости от задержек метрополитена (табл. 4) и железной дороги (табл. 5) показывают возможность такой оценки.

Основными ее критериями являются входной пассажиропоток (для метро) и пассажирская работа (для железнодорожного и наземных видов пассажирского транспорта). Различие критериев обусловлено особенностями тарифной политики на различных видах транспорта в Санкт-Петербурге. Пересчет выручки того или иного вида транспорта принимается в соответствии со следующими тарифами: средняя стоимость поездки на метрополитене 34 руб. (Распоряжение), на пригородной железной дороге в пределах агломерации 2 руб./км (<http://ppk-piter.ru/passenger/tarif/>), на наземных видах ГПТ – 7,9 руб./км (<http://www.electrotrans.spb.ru/upload/Отчёт%202016.pptx>).

Таблица 4

Изменение основных характеристик работы пассажирского транспорта в зависимости от задержек на вход на станции метрополитена

Вид транспорта	Величина задержки							
	3 мин.	5 мин.	7 мин.	9 мин.	11 мин.	13 мин.	15 мин.	30 мин.
Входной пассажиропоток, тыс. чел./ч								
метрополитен	256	241,4	231,2	220,8	211,7	201,4	189,9	134,9
железная дорога	67,6	53,1	56,9	61,7	64	65,9	62,4	67,6
Среднее время поездки, мин.								
метрополитен	20,1	20,5	20,8	21,2	21,5	21,8	21,9	23,4
железная дорога	26,2	26	25,9	25,8	25,8	25,8	26	25,6
наземные виды ГПТ	52,4	55,3	57,7	59,2	61,8	65,7	75,1	115,5

Окончание табл. 4

Вид транспорта	Величина задержки							
	3 мин.	5 мин.	7 мин.	9 мин.	11 мин.	13 мин.	15 мин.	30 мин.
Средняя длина пути, км								
метрополитен	11,1	11,3	11,6	11,9	12,1	12,3	12,5	13,7
железная дорога	16,3	16,1	16,1	16	16	16	16,1	15,7
остальные виды транспорта	10	10,5	10,8	11,2	11,6	12,1	13,4	18,9
Средняя скорость, км/ч								
метрополитен	33,1	33,2	33,4	33,6	33,8	34	34,1	35
железная дорога	37,3	37,2	37,2	37,2	37,2	37,2	37,1	36,9
наземные виды ГПТ	11,5	11,4	11,3	11,3	11,2	11,1	10,7	9,8
Пассажирская работа, тыс. чел./км								
метрополитен	2930,8	2830,2	2759,7	2706,3	2635	2554	2440,3	1899,2
железная дорога	582,3	787,3	797,8	803,3	810,1	821,8	832,1	896,4
наземные виды ГПТ	2753,3	3019,6	3062,9	3104,5	3142	3199	3317,4	3776,2
Выручка, тыс. руб./ч								
метрополитен	8704	8208	7861	7507	7198	6848	6457	4587
железная дорога	1165	1575	1596	1607	1620	1644	1664	1793
наземные виды ГПТ	21 751	23 855	24 197	24 526	24 819	25 272	26 207	29 832
Суммарная выручка по всем видам ГОТ, тыс. руб./ч								
	31 620	33 637	33 653	33 639	33 637	33 763	34 328	36 211

Таблица 5

**Изменение основных характеристик работы пассажирского транспорта
в зависимости от задержек на вход на станции железной дороги**

Вид транспорта	Величина задержки			
	10 мин.	20 мин.	40 мин.	110 мин.
Входной пассажиропоток, тыс. чел./ч				
метрополитен	242,1	248,9	266,3	261,2
железная дорога	65,8	44,5	34,4	12,7
Среднее время поездки, мин.				
метрополитен	20	20,1	20,6	20,8
железная дорога	23,5	27,7	33	42,5
наземные виды ГПТ	51,5	57,1	57,6	70,8
Средняя длина пути, км				
метрополитен	11,1	11,1	11,2	11,3
железная дорога	14,5	17,2	20,7	25,4
остальные виды транспорта	9,8	10,9	10,9	13,4
Средняя скорость сообщения, км/ч				
метрополитен	33,4	33,1	32,7	32,5
железная дорога	37	37,3	37,6	35,8
наземные виды ГПТ	11,5	11,4	11,3	11,3
Пассажирская работа, тыс. чел./км				
метрополитен	2837,1	2861,9	3010,9	2947
железная дорога	909,1	671,2	307,9	39,3

Окончание табл. 5

Вид транспорта	Величина задержки			
	10 мин.	20 мин.	40 мин.	110 мин.
наземные виды ГПТ	2910,1	3100,8	3255,5	3665,5
Выручка, тыс. руб.				
метрополитен	8231	8463	9054	8881
железная дорога	1818	1342	616	79
наземные виды ГПТ	22 990	24 496	25 718	28 957
Суммарная выручка, тыс. руб./час				
	33 039	34 301	35 388	37 917

Итак, при подсчете денежного оборота учитываются как входной пассажиропоток, умноженный на среднюю стоимость поездки, так и пассажирская работа, умноженная на стоимость километра проезда.

Графики на рисунке демонстрируют изменение пассажирской работы различных видов транспорта в зависимости от задаваемых параметров. При задержках на метрополитене или железной дороге наземные виды транспорта преимущественно «забирают» пассажиропоток, тем самым увеличивая свой доход.

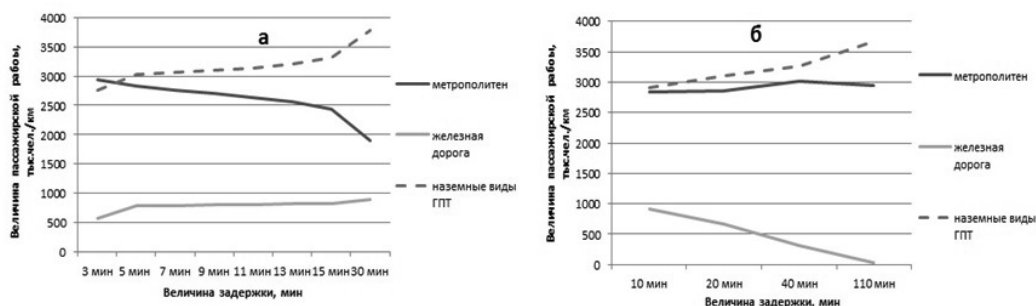


Рисунок. Изменение величины пассажирской работы от времени задержки:
а) на метрополитене; б) на железной дороге

Стоимостная оценка затрат времени населения непосредственно связана с оценкой стоимости трудовых ресурсов, как народнохозяйственной (экономической), так и индивидуальной (потребительской).

Экономическая стоимость времени учитывает не только индивидуальную полезность, но и экстерналии, в частности потери в производстве продукции или услуг из-за потерь рабочего времени, потраченного на поездки.

Таблица 6

Стоимостные потери в производстве в зависимости от времени задержки метрополитена

Величина задержки метрополитена, мин.	3	5	7	9	11	13	15	30
Среднее время поездки на общественном транспорте, мин.	61,01	61,92	62,75	63,56	64,33	65,04	65,54	70,00
Пересчет среднего времени поездки в рубли исходя из средней заработной платы (1 мин. в Санкт-Петербурге 4,7 руб.)	286,75	291,0	294,93	298,73	302,35	305,69	308,04	329,00

В Санкт-Петербурге средняя заработная плата по итогам 2016 г. составляет 47 370 руб., таким образом, стоимость минуты рабочего времени составляет 4,7 руб. В зависимости от изменения среднего времени поездки меняется и стоимость поездки (в пересчете на заработную плату), в табл. 6 и 7 можно увидеть количественное изменение этого показателя в зависимости от величины задержки на метрополитене и на пригородной железной дороге.

Таблица 7

Стоимостные потери в производстве в зависимости от времени задержки на пригородной железной дороге

Величина задержки, мин.	10	20	40	110
Среднее время поездки на общественном транспорте, мин.	61,00	61,94	63,53	64,06
Пересчет среднего времени поездки в рубли исходя из средней заработной платы (1 мин. в Санкт-Петербурге 4,7 руб.)	286,70	291,12	298,59	301,08

Выводы

Зависимость величины выходного пассажиропотока узлов метрополитена от времени ожидания на входе метрополитена носит линейный характер, не позволяющий использовать этот критерий для классификации станций по степени влияния их положения в структуре города при размещении ТПУ.

Выборка станций входного пассажиропотока узлов метрополитена также показывает линейную зависимость, при этом можно выделить станции с «пиковыми» значениями пассажиропотоков (т.е. при определенных временных задержках происходит перераспределение потока на другие линии и виды транспорта), что позволяет сделать выводы о целесообразности размещения ТПУ, например, станции метро «Комендантский проспект», «Гражданский проспект» и др.

Зависимость величины выходного пассажиропотока узлов метрополитена от времени задержки на станциях железной дороги также является линейной, однако следует заметить, что пассажиропоток при увеличении задержек непрерывно увеличивается или остается постоянным. Это происходит вследствие того, что метрополитен берет на себя значительную часть пассажиропотока железной дороги (станции метро «Балтийская», «Старая деревня»).

При анализе зависимости величины входного пассажиропотока узлов метрополитена от времени задержки на станциях железной дороги выявлено, что снижение пассажиропотока характерно для станций, тесно связанных с пригородным железнодорожным сообщением (вокзалы). В целом, входной пассажиропоток в метро увеличивается с ростом задержек.

Коэффициент влияния величины задержки на размер пассажиропотока (пассажирооборота) узла $K_{\text{пасс}}$ является важным численным критерием при выборе места размещения ТПУ. Согласно нашей гипотезе, для выявления мест размещения ТПУ нахождение данного показателя в диапазоне $0,7 < K_{\text{пасс}} < 1,2$ при задержках на входах метрополитена и пригородной железной дороги показывает места относительно стабильного пассажиропотока (пассажирооборота), что является одним из важных критериев при обосновании размещения ТПУ.

Введено понятие «устойчивость узла» – это востребованность станции при сложившемся расселении и размещении мест приложения труда при введении временных задержек на вход, т.е. узлы со значительным, практически постоянным

потоком, на базе которых целесообразно формирование транспортно-пересадочных узлов. Основным показателем «устойчивости» принят коэффициент влияния величины задержки на размер пассажиропотока $K_{\text{пасс}}$.

Сравнительные расчеты показывают, какие потери может нести тот или иной вид транспорта при неблагоприятных условиях движения для населения. Увеличение задержки на метрополитене или на пригородной железной дороге увеличивает, как показывают расчеты, пассажирооборот на смежных видах транспорта, что приносит дополнительный доход последним.

Предлагаемая методика выбора мест ТПУ при изменении времени ожидания на входе позволяет сравнивать суммарный оборот средств по рассматриваемым видам транспорта (табл. 4–5). При увеличении интервалов как на метро, так и на железной дороге нагрузку на себя берет наземный транспорт, доходы которого растут. При этом растут общие затраты времени пассажиров для всей транспортной системы в целом.

Рост затрат времени на передвижения также сказывается на производительности труда пассажиров. Оценка таких потерь может быть произведена исходя из средних затрат времени на поездку общественным транспортом по городу для каждого варианта (табл. 6–7). Кроме того, для пассажиров это приводит к увеличению стоимости поездки, что следует из суммарных затрат по всем вариантам (табл. 4–5).

Источники

- Азаренкова З. В.* Транспортно-пересадочные узлы в планировке городов. М., 2011.
- Власов Д. Н.* Приоритетные направления развития системы транспортно-пересадочных узлов агломерации // *Academia. Архитектура и строительство*. 2013. № 3.
- Калюжный Н. А., Шестерев Е. А.* Об использовании рельсового транспорта во внутригородских пассажирских перевозках в транспортных системах крупнейших городов // *Транспортное планирование и моделирование: сб. тр. науч.-практ. конф.* СПб., 2016.
- Калюжный Н. А.* Об использовании скоростного рельсового транспорта в транспортных системах крупнейших агломераций мира // *Вестник гражданских инженеров*. 2016. № 5. С. 150–162.
- Официальный сайт ГУП «Электротранс». URL: <http://www.electrotrans.spb.ru/upload/Отчёт%202016.pptx> (дата обращения: 04.07.2017).
- Официальный сайт Администрации Санкт-Петербурга. URL: http://gov.spb.ru/gov/otrasl/c_transport/transportation/ (дата обращения: 04.07.2017).
- Официальный сайт Северо-Западной пригородной пассажирской компании РЖД. URL: <http://ppk-piter.ru/passenger/tarif/> (дата обращения: 04.07.2017).
- Пиир М. А.* Пересадочность в системе пассажирского транспорта и принципы решения пересадочных узлов // *Комплексное развитие городского пассажирского транспорта*. Л., 1970.
- Распоряжение Правительства Санкт-Петербурга от 26 декабря 2016 г. № 268-р «Об установлении стоимости проездных документов многоразового пользования на проезд в наземном пассажирском маршрутном транспорте общего пользования в Санкт-Петербурге и метрополитене на 2017 год» // ИПС «Кодекс».
- Федоров В. П.* Математическая модель формирования пассажиропотоков // *Известия АН СССР. Техн. кибернетика*. 1974. № 4. С. 17–26.
- Федоров В. П., Пахомова О. М., Лосин Л. А., Булычева Н. В.* Анализ проблем транспортной системы центра крупного города: опыт применения методов математического моделирования // *Управление развитием территории*. 2009. № 4. С. 18–25.
- Экономико-математические исследования: математические модели и информационные технологии: Сб. трудов Санкт-Петербургского экономико-математического института РАН. № 9. Математические модели в исследовании процессов развития городской среды. СПб., 2015.

References

- Azarenkova Z. V. *Transportno-peresadochnye uzly v planirovke gorodov [Transport interchange nodes in urban planning]*. Moscow, 2011. (In Russian)
- Ekonomiko-matematicheskie issledovaniya: matematicheskie modeli i informacionnye tekhnologii: Sbornik trudov Sankt-Peterburgskogo ekonomiko-matematicheskogo instituta RAN. N 9. Matematicheskie modeli v issledovanii processov razvitiya gorodskoj sredy [Economic and mathematical research: mathematical models and information technologies. Proceedings of the St. Petersburg Institute of Economics and Mathematics of the Russian Academy of Sciences. № 9. Mathematical models in the study of urban development processes]*. St. Petersburg, 2015.
- Fedorov V. P. Matematicheskaya model' formirovaniya passazhiropotokov [Mathematical model of passenger traffic formation]. *Izvestiya AN SSSR. Tekhn. kibernetika [Proceedings of the USSR Academy of Sciences. Techn. cybernetics]*, 1974, N 4, pp. 17–26. (In Russian)
- Fedorov V. P., Pahomova O. M., Losin L. A., Bulycheva N. V. Analiz problem transportnoj sistemy centra krupnogo goroda: opyt primeneniya metodov matematicheskogo modelirovaniya [Analysis of the problems of the transport system in the center of a large city: experience in applying mathematical modeling methods]. *Upravlenie razvitiem territorii [Territory management]*, 2009, N 4, pp. 18–25. (In Russian)
- Kalyuzhnyj N. A. Ob ispol'zovanii skorostnogo rel'sovogo transporta v transportnyh sistemah krupnejshih aglomeracij mira [About the use of high-speed rail transport in the transport systems of the largest agglomerations of the world]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov [Herald of Civil Engineers]*, 2016, N 5, pp. 150–162. (In Russian)
- Kalyuzhnyj N. A., Shestеров E. A. Ob ispol'zovanii rel'sovogo transporta vo vnutrigorodskih passazhirskih perevozkah v transportnyh sistemah krupnejshih gorodov [On the use of rail transport in intercity passenger transportation in the transport systems of major cities]. *Transportnoe planirovanie i modelirovanie: sb. tr. nauch.-praktich. konf. [Transport planning and modeling: a collection of works of scientific and practical conference]*. St. Petersburg, 2016. (In Russian)
- Oficial'nyj sajt Administracii Sankt-Peterburga [Official website of the Administration of St. Petersburg]*. Available at: http://gov.spb.ru/gov/otrasl/c_transport/transportation/ (accessed: 04.07.2017). (In Russian)
- Oficial'nyj sajt GUP «Elektrotrans» [Official site of SUE “Electrotrans”]*. Available at: <http://www.electrotrans.spb.ru/upload/Otchyot%202016.pptx> (accessed: 04.07.2017). (In Russian)
- Oficial'nyj sajt Severo-zapadnoj prigorodnoj passazhirskoj kompanii RZHD [Official site of North-West suburban passenger company RZD]*. Available at: <http://ppk-piter.ru/passenger/tarif/> (accessed: 04.07.2017). (In Russian)
- Piir M. A. Peresadochnost' v sisteme passazhirskogo transporta i principy resheniya peresadochnyh uzlov [Transshipment in the system of passenger transport and the principles of the decision of the transfer nodes]. *Kompleksnoe razvitie gorodskogo passazhirskogo transporta [Integrated development of urban passenger transport]*. Leningrad, 1970. (In Russian)
- Rasporyazhenie Pravitel'stva Sankt-Peterburga 268-r ot 26.12.2016 g. Ob ustanovlenii stoimosti proezdnyh dokumentov mnogorazovogo pol'zovaniya na proezd v nazemnom passazhirskom marshrutnom transporte obshchego pol'zovaniya v Sankt-Peterburge i metropolitene na 2017 god [Order of the Government of St. Petersburg 268-r of December 26, 2016 On the establishment of the cost of travel documents for reusable use for travel in public land-based public transport in St. Petersburg and the subway in 2017]*. IPS «Kodeks» [“Codex”]. (In Russian)
- Vlasov D. N. Prioritetnye napravleniya razvitiya sistemy transportno-peresadochnyh uzlov aglomeracii [Priority directions of development of the system of transport-transshipment agglomeration nodes]. *Academia. Arhitektura i stroitel'stvo [Architecture and Construction]*, 2013, N 3. (In Russian)