

Методика выбора мест размещения транспортно-пересадочных узлов на основе оптимизационной математической модели



Олег МОСКВИЧЕВ



Светлана ЛЕОНОВА

В статье рассмотрено формирование системы транспортно-пересадочных узлов (ТПУ). Необходимость создания ТПУ обусловлена возможностью повышения эффективности организации пассажиропотоков в системе городского общественного транспорта, сокращения времени поездки пассажиров, обеспечения комфортных, безопасных условий пересадки и улучшения качества обслуживания населения.

Цель работы – разработка методики, позволяющей решать задачу оптимального выбора мест размещения ТПУ любого города по экономическому критерию и критерию среднего времени поездки с использованием методов математического моделирования. Методика включает поиск оптимальных маршрутов поездки по городу и определе-

*Москвичев Олег Валерьевич – Самарский государственный университет путей сообщения, Самара, Россия
Леонова Светлана Александровна – Самарский государственный университет путей сообщения, Самара, Россия*.*

ние эффективных пересадочных узлов с помощью разработанного программного продукта «Эффективные пересадки». При этом эффективные пересадочные узлы с максимальной величиной пассажиропотока являются кандидатами на создание в них ТПУ. В работе выполнены расчёты согласно предлагаемой методике и определены оптимальные варианты размещения транспортно-пересадочных узлов в городском округе Самара при ограниченных денежных средствах с учётом величины сокращения времени поездки и количества пассажиров, пользующихся этими пересадочными узлами. Получена зависимость сокращения среднего времени одной поездки по городу от количества транспортно-пересадочных узлов.

Ключевые слова: транспортно-пересадочный узел, городская транспортная сеть, общественный транспорт, пассажиропоток, среднее время поездки, оптимизационная математическая модель.

*Информация об авторах:

Москвичев Олег Валерьевич – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой управления эксплуатационной работой Самарского государственного университета путей сообщения (СамГУПС), Самара, Россия, moskvichev063@yandex.ru.

Леонова Светлана Александровна – специалист учебно-методического управления, старший преподаватель кафедры управления эксплуатационной работой Самарского государственного университета путей сообщения (СамГУПС), Самара, Россия, Svetlana.8709@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 14.01.2020, принята к публикации 11.05.2020.

For the English text of the article please see p. 206.

ВВЕДЕНИЕ

Необходимость создания транспортно-пересадочных узлов обусловлена возможностью повышения эффективности организации пассажиропотоков в системе городского общественного транспорта, улучшения качества обслуживания населения, повышения привлекательности городского общественного транспорта [1–6]. Вопросы обеспечения транспортной доступности, повышения качества транспортных услуг для населения, увеличения роли городского общественного транспорта, сокращения среднего времени поездки (что возможно за счёт создания системы транспортно-пересадочных узлов) отмечены как одни из наиболее важных в Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года [7].

При этом важно определить тип ТПУ, виды транспорта, взаимодействующие в узле, спроектировать каждый элемент пересадочного узла таким образом, чтобы обеспечить быструю, безопасную посадку и одновременно высокий уровень обслуживания пассажиров [8–10].

Оптимальный выбор мест расположения транспортно-пересадочных узлов позволит повысить спрос на городской общественный транспорт, сократить время поездки за счёт использования пассажирами оптимальных маршрутов, обеспечить комфортные, безопасные условия посадки и попутное обслуживание пассажиров объектами социальной инфраструктуры [11; 12].

В мировой практике основой для создания ТПУ являются станции скоростного внеуличного транспорта, что связано с развитой системой городских железных дорог и метрополитена [1; 3; 4; 9; 13; 14]. По примеру зарубежных городов строятся транспортно-пересадочные узлы Москвы [15] и Санкт-Петербурга [16]. Однако важно разработать универсальную методику определения количества и мест размещения ТПУ, которая позволит сформировать систему пересадочных узлов даже для городов с недостаточно развитой системой внеуличного транспорта, но развитой системой городского наземного транспорта.

Задача выбора количества и мест размещения пересадочных узлов рассматривалась такими российскими учёными, как

Д. Н. Власов [11; 17–19], А. А. Шагимуратова [20; 21], Н. А. Калюжный [22–25], М. А. Пиир [26; 27].

Д. Н. Власов [11; 17; 18] предложил определять приоритетные (первоочередные) транспортно-пересадочные узлы с использованием квалиметрии. Автор отмечает ряд градостроительных факторов, влияющих на выбор места строительства пересадочных узлов с учётом обеспечения экологичного устойчивого развития городской среды [19].

А. А. Шагимуратова [20; 21] разработала методику выбора приоритетных ТПУ, формируемых с участием железнодорожного транспорта, путём расчёта рейтинга каждого из них на основании экспертных оценок.

Н. А. Калюжный [22–25] осуществляет выбор приоритетных ТПУ по признаку устойчивости к изменениям пассажиропотока. Автор рассматривает узлы, формируемые вокруг станций метро и пригородной железной дороги. Важным критерием выбора узлов на роль ТПУ является коэффициент влияния величины задержки на размер пассажиропотока. При этом величина этого коэффициента и его определяющая роль в выборе пересадочных узлов в работе не обоснована.

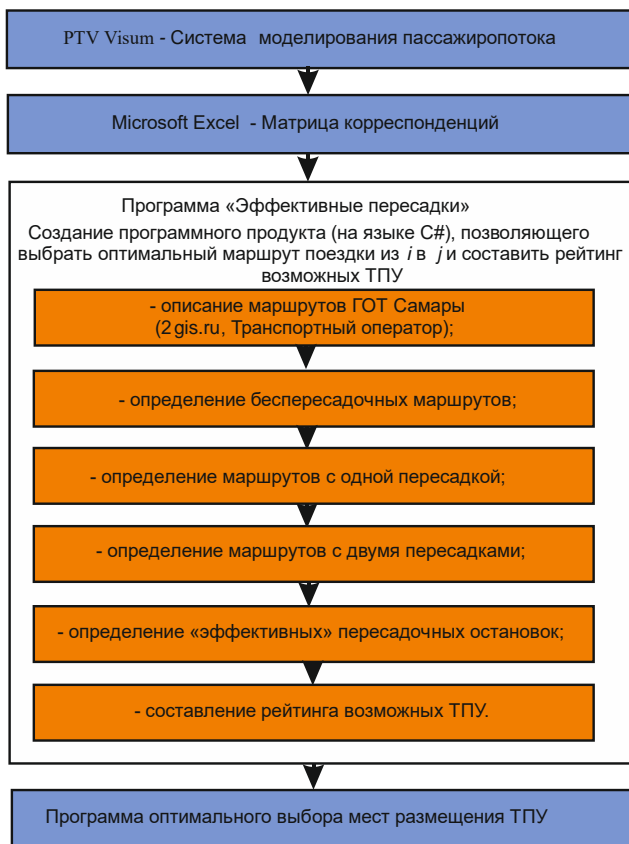
Методика определения оптимального количества транспортно-пересадочных узлов в городах и мегаполисах, предложенная М. А. Пииром [26; 27], базируется на расчёте числа пересадочных узлов в зависимости от площади города и зоны влияния ТПУ. Однако методика предполагает расчёт количества узлов без определения мест их размещения, не учитывает специфику роста современных городов и мегаполисов.

Следовательно, требует дальнейшей проработки вопрос выбора количества и мест размещения пересадочных узлов. При этом *необходимо провести комплексный анализ городской транспортной сети и потребностей пассажиров, определить основные критерии*, которые позволят сформировать систему ТПУ любого города таким образом, чтобы при этом достичь максимального социально-экономического эффекта [12; 28].

Целью работы является разработка методики определения количества и мест размещения транспортно-пересадочных



Рис. 1. Программные продукты, используемые для реализации алгоритма методики выбора мест размещения транспортно-пересадочных узлов.



узлов любого города по экономическому критерию и критерию среднего времени поездки на основе оптимизационной математической модели.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Предлагаемая методика включает три этапа:

- *1 этап.* Изучение потребностей пассажиров в части транспортного обслуживания, расчёт величины пассажиропотока, составление матрицы межостановочных корреспонденций.

- *2 этап.* Выбор оптимальных маршрутов пассажиров в системе городского общественного транспорта. Определение «эффективных» пересадочных узлов, в которых осуществляются пересадки, составление их рейтинга по критерию величины пассажиропотока.

- *3 этап.* Выбор мест размещения ТПУ на основе оптимизационной математической модели по экономическому критерию или критерию среднего нормативного времени поездки.

Для реализации предлагаемой методики используются известные и разработанные

программные продукты. Программные продукты, используемые для реализации алгоритма методики выбора мест размещения транспортно-пересадочных узлов представлены на рис. 1.

Задача выбора мест размещения транспортно-пересадочных узлов рассматривается с точки зрения генерального критерия – среднего времени поездки пассажиров в системе городского общественного транспорта [12; 22–25; 28; 29].

На первом этапе выполняется анализ городской транспортной системы [29; 30], изучается спрос на общественный транспорт, рассчитывается матрица корреспонденций. Разделение городской территории на зоны и автоматизированный расчёт матрицы межрайонных корреспонденций рассматривались в работах О. Н. Сапрыкина [31; 32], М. Р. Якимова [33; 34]. Однако для реализации предлагаемой методики выбора мест размещения ТПУ важно получить матрицу межостановочных корреспонденций, при этом учитывается доступность каждой остановки общественного транспорта [12; 29].

Выполняется пересчёт матрицы межрайонных корреспонденций, полученной

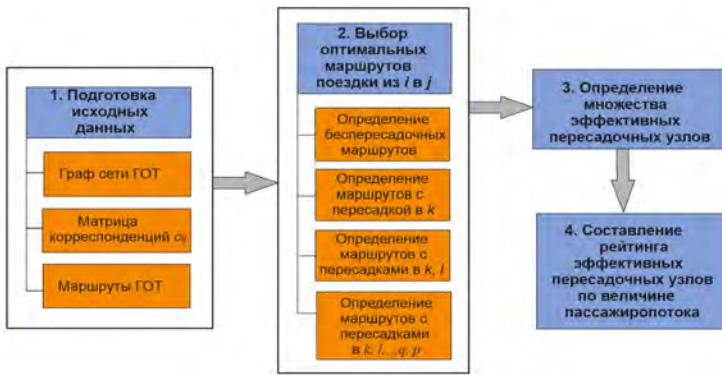


Рис. 2. Блок-схема алгоритма вычисления эффективных пересадочных узлов.

Таблица 1

Фрагмент матрицы межостановочных корреспонденций $C^0 = \{c^0(i, j)\}$

Номер остановки отправления, i	Номер остановки прибытия, j	Среднесуточный пассажиропоток $c_{i,j}$, пасс.
1	2	2
1	3	3
.....
1006	1004	1
1006	1005	71

путём математического моделирования (с использованием «гравитационной» модели в PTV Visum) [32; 33], в матрицу межостановочных корреспонденций $C^0 = \{c^0(i, j)\}$, используя при этом упрощённую городскую транспортную сеть общественного транспорта, представляющую собой сеть с меньшим числом остановок за счёт объединения ряда остановок, которые лежат на линии одного маршрута, в блоки [12; 28].

Матрица межостановочных корреспонденций $C^0 = \{c^0(i, j)\}$ показывает среднесуточное число пассажиров, которые перемещаются от остановки i до остановки j по городской сети общественным транспортом. Фрагмент матрицы межостановочных корреспонденций $C^0 = \{c^0(i, j)\}$ представлен в табл. 1.

На втором этапе осуществляется выбор оптимальных маршрутов следования пассажиров в системе городского общественного транспорта по критерию минимального времени поездки, определяются эффективные пересадочные узлы, и составляется их рейтинг по критерию величины пассажиропотока. Блок-схема алгоритма вычисления эффективных пересадочных узлов представлена на рис. 2.

На основе матрицы межостановочных корреспонденций $C^0 = \{c^0(i, j)\}$ (табл. 1) и

упрощённой городской транспортной сети общественного транспорта определяются маршруты следования пассажиров из i в j . Часть пассажиров пользуется известными, привычными для себя маршрутами, особенно это касается трудовых корреспонденций. Другая часть пассажиров пользуется специальными программами и приложениями для выбора маршрута поездки. Выбор пути следования основан на выборе прямого (беспересадочного) маршрута, что связано с нежеланием платить за проезд дважды, а также неудобством самой пересадки. Однако при этом затрачивается значительное время на продолжительный пеший подход к нужной остановке отправления и прибытия.

Считаем, что действует единая система оплаты проезда, то есть, например, в течение часа пассажир перемещается по городской сети общественного транспорта по одному билету, независимо от числа пересадок и используемых видов городского транспорта. При выборе маршрута передвижения пассажир принимает решение на основании времени, затрачиваемого на поездку, с учётом комфортных, безопасных условий пересадки и возможности попутного социального обслуживания, и при этом оплачивает проезд один раз, даже если пользуется несколькими



видами городского общественного транспорта.

Для решения задачи выбора оптимального маршрута поездки из i в j разработан программный продукт «Эффективные пересадки» на языке C# (среда разработки *Microsoft Visual Studio 2017*), который позволяет выбрать оптимальный маршрут из i в j : прямой (если таковой имеется), с одной или несколькими пересадками. В результате получаем места, где находятся наиболее крупные по числу пассажиров пересадочные узлы. Именно эти пересадочные узлы пассажирского транспорта должны рассматриваться как кандидаты на создание в них транспортно-пересадочных узлов.

Для каждого маршрута с одной пересадкой из всего множества возможных пересадочных узлов k найден такой пересадочный узел r , который обеспечивает минимальное время проезда из i в j :

$$t_{i,r,j} = \min_k t_{i,k,j}. \quad (1)$$

Перебирая варианты, получаем один или несколько равнозначных пересадочных узлов. С помощью программы «Эффективные пересадки» получаем список всех узлов r , в которых осуществляется пересадка. Назовем их эффективные пересадочные узлы. Подсчитываем мощности таких узлов. Это максимально возможное количество пассажиров, которые будут пользоваться этим эффективным пересадочным узлом r :

$$c_r = \sum_{i,j} c_{i,r,j} + \sum_i c_{ir} + \sum_j c_{rj}, r=1,2,\dots,R, \quad (2)$$

где $\sum_{i,j} c_{i,r,j}$ — количество пассажиров, пересаживающихся в r -м эффективном пересадочном узле;

$\sum_i c_{ir}$ — количество пассажиров, приезжающих в r -й эффективный пересадочный узел (он же j);

$\sum_j c_{rj}$ — количество пассажиров, уезжающих из r -го эффективного пересадочного узла (он же i).

Далее составляем рейтинг эффективных пересадочных узлов по мощности пассажиропотока (величине c_r).

На третьем этапе осуществляется выбор мест размещения ТПУ на основе оптимизационной математической модели по

экономическому критерию или критерию среднего нормативного времени поездки.

Рассматривая экономический подход к выбору мест размещения пересадочных узлов, задаёмся величиной затрат S_r на строительство каждого конкретного ТПУ. Создание транспортно-пересадочных узлов имеет целью повышение удобства обслуживания пассажиров при пересадке и требует значительных затрат на перепланировку территории, строительство удобных переходов и дополнительной инфраструктуры (торговые точки, места ожидания и другое).

Создание ТПУ должно привести к уменьшению временных затрат пассажиров на совокупное обслуживание. То есть, при создании пересадочных узлов важно сократить время поездки за счёт уменьшения каждого t_{ij} и, следовательно, среднего времени поездок через систему транспортно-пересадочных узлов.

Необходимо распределить средства E_0 на создание транспортно-пересадочных узлов из возможного множества эффективных пересадочных узлов (кандидатов на роль ТПУ). При этом следует достичь максимального снижения среднего времени поездок через систему ТПУ при заданном E_0 . Получаем оптимизационную задачу линейного булева программирования, где булевы переменные $x_r = 1$, если в r -м узле будет ТПУ, и $x_r = 0$ в противном случае [12; 28]:

$$\Delta T = \frac{1}{\sum_r c_r} \sum_r c_r \Delta t_r x_r \rightarrow \max, \quad (3)$$

$$\sum_r S_r x_r \leq E_0. \quad (4)$$

Решая задачу (3), (4), выберем среди всех эффективных пересадочных узлов те, в которых будем строить транспортно-пересадочные узлы.

Через каждый эффективный пересадочный узел r проходит один или несколько маршрутов с пересадкой в r . Для каждого такого маршрута с пересадкой определено время поездки. Сравнивая время поездки до и после определения оптимального маршрута получаем сокращение времени данной поездки через рассматриваемый пересадочный узел r . Если через r проходит несколько пересадочных маршрутов N_r , то для каждого

Рейтинг эффективных пересадочных узлов городского округа Самара по величине пассажиропотока c_r

№ п/п	№ остановки	Название	Среднесуточный пассажиропоток (c_r), пасс.
1	122	Железнодорожный вокзал	92154,5
2	183	Автостанция Аврора	88150,76
3	257	пл. Кирова	78206,33
4	163	Барбошина Поляна	76829,26
5	292	Галактионовская (ул. Красноармейская)	71891
6	46	Ново-Вокзальная (Московское шоссе)	69064,28
7	265	Московское шоссе (ул. Ташкентская)	68801,35
8	220	пр. Металлургов (ул. Советская)	63937,97
9	269	Победа	62279,45
10	60	Стара-Загора (пр. Кирова)	60913,49
11	133	Полевая	60003,01
12	297	Железнодорожный вокзал	59221,62
13	323	Автостанция Вольская	57061,23
14	236	Тухачевского	54994,64
15	199	Дом печати	53717
16	47	Ново-Вокзальная (ул. Стара-Загора)	52732,45
17	266	Стара-Загора (ул. Ташкентская)	51049,21
18	213	Безымянка	50647,14
19	212	Вольская	48198,67
20	143	Дачная (трамвай)	47989,96
.....			
271	155	Уфимская	96,73184
272	314	ГАТП-3	84,437

r определяется среднее сокращение времени поездки Δt_r .

Рассмотрим решение задачи выбора мест расположения транспортно-пересадочных узлов по критерию среднего времени поездки. Зная величины сокращения среднего времени одной поездки с пересадкой (Δt_r) в узле r , если в нём будет оборудован ТПУ, можно сформулировать требование, чтобы выбор системы пересадочных узлов обеспечил максимальное сокращение среднего времени одной поездки по городу Δt_{cp} :

$$\Delta t_{cp} = \frac{1}{(\sum_j c_{ij} + \sum_r c_r)} \sum_r c_r \Delta t_r x_r \rightarrow \max, \quad (5)$$

где c_{ij} – количество пассажиров, которые едут из i в j беспересадочными маршрутами.

Апробация методики оптимального выбора мест размещения транспортно-пересадочных узлов в городском округе Самара позволила определить 272 эффективных пересадочных узла, которые являются кандидатами на роль ТПУ.

Так как считаем, что величины c_r определяют основной критерий создания пере-

садочных узлов [12; 28], то эффективные пересадочные узлы выстраиваем в рейтинг в порядке убывания величины c_r (табл. 2).

При рассмотрении экономического подхода к выбору мест размещения пересадочных узлов получены оптимальные варианты расположения ТПУ в Самаре, которые представлены на рис. 3.

В результате решения задачи выбора мест расположения транспортно-пересадочных узлов по критерию среднего нормативного времени поездки получена зависимость сокращения среднего времени одной поездки по городу Δt_{cp} от числа ТПУ N (рис. 4).

Следует отметить, что величина Δt_{cp} достигает предельного значения 6 минут. При дальнейшем увеличении числа транспортно-пересадочных узлов среднее время поездки по городу t_{cp} будет практически неизменным.

ВЫВОДЫ

Таким образом, разработанная методика позволяет решать задачу выбора мест



Рис. 3. Оптимальные варианты размещения ТПУ в Самаре при ограниченных денежных средствах с учётом величины сокращения времени поездки и количества пассажиров, пользующихся этими ТПУ.



- 257 Оптимальный вариант размещения ТПУ при $E_0 = 2,5$ млрд руб.
- 257 + ● 422 Оптимальный вариант размещения ТПУ при $E_0 = 3,0$ млрд руб.
- 257 + ● 430 Оптимальный вариант размещения ТПУ при $E_0 = 3,5$ млрд руб.

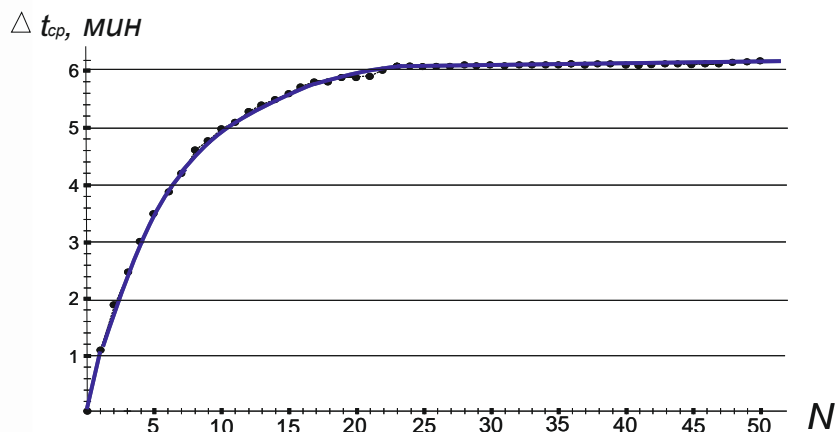


Рис. 4. Зависимость сокращения среднего времени одной поездки по городу $\Delta t_{ср}$ от числа ТПУ N .

расположения транспортно-пересадочных узлов. Методика включает поиск оптимальных маршрутов поездки по городу и определение эффективных пересадочных узлов с помощью разработанного программного продукта «Эффективные пересадки». При этом эффективные пересадочные узлы с максимальной величиной пассажиропотока являются кандидатами на создание в них ТПУ. Далее на основе математической модели осуществляется оптимальный выбор количества и мест размещения транспортно-пересадочных узлов любого города, исходя из данных о размерах пассажиропотока, среднего времени поездки между остановками, числа остановок транспортной сети, стоимости строительства каждого ТПУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Monzón, A., Hernández, S., Di Ciommo, F. Efficient urban interchanges: the City-HUB model. *Transportation Research Procedia*, 2016, Vol. 14, pp. 1124–1133. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.183>.
2. Graham-Rowe, E., Skippon, S., Gardner, B., Abraham, C. Can we reduce car use and, if so, how? A review of available evidence. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2011, Vol. 45, Iss. 5, pp. 401–418. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2011.02.001>.
3. Kristersson, P. The role of public transport interchanges in regional planning. *Regions Magazine*, January 2012, Vol. 285, Iss. 1, pp. 16–17.
4. Di Ciommo, F., Monzón, A., Barberan, A. Interchange place: Sustainable and Efficient Urban Transport Interchanges. In book: *CITY-HUBS*, March 2016, pp. 37–50. DOI: 10.1201/b19519–5.
5. Hernandez, S., Monzon, A., de Oña, R. Urban transport interchanges: A methodology for evaluating perceived quality. *Transportation Research Part A*, 2016, Vol. 84, pp. 31–43. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.08.008>.
6. Redman, L., Friman, M., Gärling, T., Hartig, T. Quality attributes of public transport that attract car users:

A research review. *Transport Policy*, 2013, Vol. 25, pp. 119–127. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2012.11.005>.

7. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года: офиц. текст распор. Правительства РФ от 22 ноября 2008 г. № 1734-р; на 11.06.2014. [Электронный ресурс]: http://government.ru/dep_news/13190/. Доступ 05.02.2020.

8. Di Ciommo, F., Vassallo, J.M., Oliver, A. Private Funding of Intermodal Exchange Stations in Urban Areas: Case of Madrid, Spain. *Transportation Research Record*, January 2009, Vol. 2115, Iss. 12, pp. 20–26. DOI: <https://doi.org/10.3141/2115-03/>.

9. Pitsiava-Latinopoulou, M., Iordanopoulos, P. Intermodal Passengers Terminals: Design Standards for Better Level of Service. *Proceedia – Social and Behavioral Sciences*, Transport Research Arena, 2012, Vol. 48, pp. 3297–3306. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.06.1295>.

10. Dell'Asin, G., Monzón, A., Lopez-Lambas, M. E. Key quality factors at urban interchanges. *Proceedings of the ICE – Transport*, 2014, pp. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.1680/tran.13.00039>.

11. Власов Д. Н. Транспортно-пересадочные узлы: Монография / 2-е изд. – М.: МГСУ, 2017. – 192 с.

12. Леонова С. А. Выбор мест расположения пересадочных узлов сети городского пассажирского транспорта // *Транспорт Урала*. – 2019. – № 4 (63). – С. 101–105.

13. Li, Zhi-Chun; Lam, W. H. K.; Wong, S. C. Modeling intermodal equilibrium for bimodal transportation system design problems in a linear monocentric city. *Transportation Research Part B*, 2012, Vol. 46, Iss. 1, pp. 30–49. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2011.08.002>.

14. Liu, Li Fen; Wang, Wen. Analysis of Urban Rail Transit Seamless Transfer Standard. *MATEC Web of Conferences* 81, 03002, 2016. [Электронный ресурс]: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2016/44/mateconf_ictte2016_03002.pdf. Доступ 05.02.2020. DOI: 10.1051/mateconf/20168103002.

15. Постановление Правительства Москвы от 06 сентября 2011 г. № 413-ПП «О формировании транспортно-пересадочных узлов в городе Москве». [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/537907102>. Доступ 05.02.2020.

16. Стратегия развития транспортной системы Санкт-Петербурга и Ленинградской области на период до 2030 года. [Электронный ресурс]: <http://www.spbtrd.ru/program-development/>. Доступ 05.02.2020.

17. Власов Д. Н. Приоритетные направления развития системы транспортно-пересадочных узлов агломерации // *Academia. Архитектура и строительство*. – 2013. – № 3. – С. 86–89.

18. Власов Д. Н. Структура и состав нормативных требований к городским транспортно-пересадочным узлам // *Градостроительство*. – 2015. – № 3 (37). – С. 11–19.

19. Sherbina, E. V., Danilina, N. V., Vlasov, D. N. City planning issues for sustainable development. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2015, Vol. 10, No. 22, pp. 43131–43138. [Электронный ресурс]: <http://www.ripublication.com/Volune/ijaerv10n22.htm>. Доступ 05.02.2020.

20. Шагимуратова А. А. Системный анализ в определении приоритетных направлений развития транспортно-пересадочных узлов железнодорожного транспорта // *Градостроительство*. – 2016. – № 2 (42). – С. 63–71.

21. Шагимуратова А. А. Методика оценки развития транспортно-пересадочных узлов железнодорожного транспорта // *Интернет-журнал «Науковедение»*.

2017. – Т. 9. – № 1. [Электронный ресурс]: <http://naukovedenie.ru/PDF/58TVN117.pdf>. Доступ 05.02.2020.

22. Калюжный Н. А. Методика оптимизации размещения транспортно-пересадочных узлов в системе городского пассажирского транспорта // *Дис... канд. техн. наук.* – СПб.: ПГУПС. – 2019. – 254 с.

23. Булычева Н. В., Калюжный Н. А., Лосин Л. А. Модели размещения транспортно-пересадочных узлов городского пассажирского транспорта // *Финансы и бизнес*. – 2018. – № 1. – С. 54–63.

24. Калюжный Н. А. Обоснование приоритетности мест размещения транспортно-пересадочных узлов в структуре агломерации методом математического моделирования // *Вестник гражданских инженеров*. – 2017. – № 5 (64). – С. 142–148.

25. Kalyuzhnyi, N., Losin, L. A method of mathematical modeling for transfer hub establishment in Saint Petersburg. *Transportation Research Procedia*, 2018, Vol. 36, pp. 245–251. DOI: 10.1016/j.trpro.2018.12.075.

26. Пиир М. А. Определение необходимого количества пересадочных узлов при формировании комплексной транспортной системы крупного города // *Труды второй Свердловской научно-практ. конференции «Современное состояние и перспективы развития транспортных систем крупного города» / Свердловский институт народного хозяйства*. – 1974. – Вып. 1. – Методологические аспекты исследований и проектирования транспортных систем городов и агломераций. Исследования закономерностей расселения и передвижения населения в городах и агломерациях. – С. 21–24.

27. Пиир М. А. Вопросы формирования системы пассажирского транспорта крупного города // *Практика разработки и реализации генеральных планов городов*. – Киев: Будівельник, 1975. – С. 96.

28. Леонова С. А. Оптимальный выбор мест расположения транспортно-пересадочных узлов // *Транспорт и логистика: стратегические приоритеты, технологические платформы и решения в глобализованной цифровой экономике / Сб. научных трудов III международной научно-практ. конференции*. – Ростов-на-Дону, 2019. – С. 214–216.

29. Chao, Sun; Xiaohong, Chen; H. Michael Zhang, and Ze Huang. An Evaluation Method of Urban Public Transport Facilities Resource Supply Based on Accessibility. *Hindawi Journal of Advanced Transportation*, Vol. 2018, Article ID 3754205, 11 p. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/3754205>.

30. 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.

31. Ludan, I., Maiorov, E., Santana, J. D. M., Saprykin, O. Integrated approach to building a microscopic city model. In *Proceedings of the 5th International Young Scientists Conference on Information Technologies, Telecommunications and Control Systems*, 2018, 8 p.

32. Saprykin, O., Saprykina, O. Multilevel Modelling of Urban Transport Infrastructure. In *Proceedings of the 1st International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems (VEHITS-2015)*. Portugal, Lisbon, SCITEPRESS, 2015, pp. 78–82.

33. Якимов М. Р. Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов: Монография. – М.: Логос, 2013. – 188 с.

34. Якимов М. Р., Арепьева А. А. Транспортное планирование. Особенности моделирования транспортных потоков в крупных российских городах: Монография. – М.: Логос, 2016. – 280 с.

