

УДК 656.13

# ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНЫХ УЗЛОВ В ГОРОДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

**САЛЬНИКОВА Анна Дмитриевна**, аспирант; e-mail: salnikova.ad@edu.spbstu.ru

**БАНИТЕ Аушра Владовна**, ассистент; e-mail: banite\_av@spbstu.ru

**ПЛОТНИКОВ Дмитрий Георгиевич**, канд. техн. наук, доцент; e-mail: plotnikov\_dg@spbstu.ru

**КАШТАЛИНСКИЙ Александр Сергеевич**, канд. техн. наук, доцент; e-mail: ask1188@mail.ru

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Институт машиностроения, материалов и транспорта, Высшая школа транспорта, Санкт-Петербург

В статье представлена методика оптимизации транспортных затрат с применением моделирования в программном пакете PTV Visum. На основании анализа проблем транспорта в крупных городских агломерациях выбран критерий качества для оценки работы пассажирского транспорта. Предложен подход по внедрению системы транспортно-пересадочных узлов с целью минимизации временных затрат на пересадку в частности и поездку на транспорте общего пользования в целом. Данный метод оптимизации транспортных затрат представляет собой алгоритм 3 ключевых блоков: формирование транспортной модели исследуемой агломерации, условия размещения и выбор местоположения транспортно-пересадочных узлов. Модель формируется на основе 4-этапного подхода, распределение поездок в сети базируется на энтропийном подходе, который подробнее рассмотрен во втором разделе. Условия размещения вытекают из идеи минимизировать суммарные временные затраты на перемещение, количество внедряемых узлов ограничивается финансированием их постройки. Применение подхода продемонстрировано на примере северо-западной городской агломерации Сертолово — Осиновая Роща — Парголово, которая представляет собой активно застраиваемые жилые районы на границе г. Санкт-Петербурга. Определены особенности ее транспортной сети, в том числе узлы и магистрали с затрудненным движением. На основе открытых источников и статистических данных разработана транспортная модель, проведена ее калибровка. Представлены 3 варианта размещения транспортно-пересадочных узлов на улично-дорожной сети агломерации. В качестве результата исследования представлен анализ вариантов размещения пересадочных узлов и предложен наиболее перспективный с точки зрения достижения целевого значения вариант их размещения в рассматриваемой агломерации.

**Ключевые слова:** транспортное планирование; городская агломерация; транспортно-пересадочный узел; улично-дорожная сеть; транспортное моделирование.

**DOI:** 10.20295/2412-9186-2023-9-01-87-98

## ▼ Введение

Рост плотности населения в крупных городах и масштабная застройка пригородов приводят к формированию жилых районов вдали от центров деловой активности, возрастает потребность в передвижении, а вместе с ней и транспортный спрос [1]. Растущая маятниковая миграция населения выводит транспортную доступность как характеристику уровня жизни человека на первый план, делает ее главным социальным приоритетом развития транспортного комплекса [2]. Этот факт обуславливает необходимость не только решения уже существующих проблем транспортной инфраструктуры, таких как неразвитая сеть пассажирского транспорта общего пользования (ПТОП), перегруженность автомобильных дорог, но и ее модернизации в

перспективе развития городов и роста численности населения.

Повышение мобильности населения через рост его обеспеченности индивидуальным транспортом не решает проблем, так как влечет за собой возникновение новых: увеличение нагрузки на улично-дорожную сеть, экологические последствия от роста объема выхлопов в атмосферу [3]. Понимание, что подобный путь развития транспортных систем является тупиковым, появилось еще в прошлом веке, но комплексный подход к решению задачи обеспечения мобильности населения стал использоваться сравнительно недавно<sup>1</sup>. В дан-

<sup>1</sup> Постановление Правительства РФ от 25 декабря 2015 г. № 1440 «Об утверждении требований к программам комплексного развития транспортной инфраструктуры поселений, городских округов».

ном случае под комплексным подходом стоит понимать всестороннее развитие транспортной инфраструктуры, систем как индивидуального, так и общественного транспорта, а также стратегию развития системы в целом — транспортное планирование.

Транспортное планирование не только решает широкий спектр вопросов и проблем, но и обеспечивает устойчивость транспортной системы. Ввиду вариативности сценариев ее функционирования оценка сети возможна только при определении целевых показателей, по которым производится выбор решения. В совокупности с потребностью в обработке больших массивов данных становится необходимым применение моделирования как наиболее удобного инструмента для анализа и принятия планировочных решений<sup>2</sup>. Возможность оперативно просчитывать и анализировать различные сценарии, которую дают современные программы моделирования, является ключевой, когда речь идет о планировании транспортных сетей в агломерациях с быстрым ростом населения.

Целью данного исследования является выработка методического подхода к повышению транспортной мобильности населения путем снижения транспортных затрат через внедрение транспортно-пересадочных узлов (ТПУ). Отметим, что внедрение пересадочных узлов эффективно только тогда, когда их расположение согласуется с ключевыми пассажиропотоками. Задача данного исследования: смоделировать в PTV Visum транспортные потоки исследуемой агломерации и провести сравнительный анализ транспортных затрат при различных вариантах размещения пересадочных узлов в дорожной сети.

## 1. Выбор критерия качества для работы ПТОП

Исходя из анализа транспортных проблем городов [4–7] и необходимости обеспечения транспортной устойчивости [8] можно сделать вывод о необходимости повышения качества транспортного обслуживания населения. Оно

<sup>2</sup> Приказ Министерства транспорта РФ от 30 июля 2020 г. № 274 «Об утверждении Правил подготовки документации по организации дорожного движения» (с изменениями и дополнениями).

может осуществляться за счет модернизации и расширения подвижного состава, внедрения объектов транспортной инфраструктуры [9], обеспечения их безопасности [10], создания специальных условий для маломобильных групп граждан [11, 12], пересмотра маршрутов ПТОП для повышения доступности и мобильности населения и снижения транспортных затрат [6, 13]. Последнего можно добиться через внедрение пересадочных тарифов или удобных систем оплаты проезда [14], а также за счет сокращения времени, затрачиваемого на поездку [9].

Как было отмечено выше, время в пересчете на преодолеваемое расстояние является одним из главных критериев, по которым можно оценить качество транспортного обслуживания. Следовательно, при модернизации существующей или проектировании новой транспортной сети необходимо делать упор на сокращение временных затрат при перемещении на ПТОП. Такой подход может способствовать не только приросту пассажиров и снижению автомобилепользования, но и при совокупном улучшении других качественных показателей [9] приведет к росту популярности общественного транспорта.

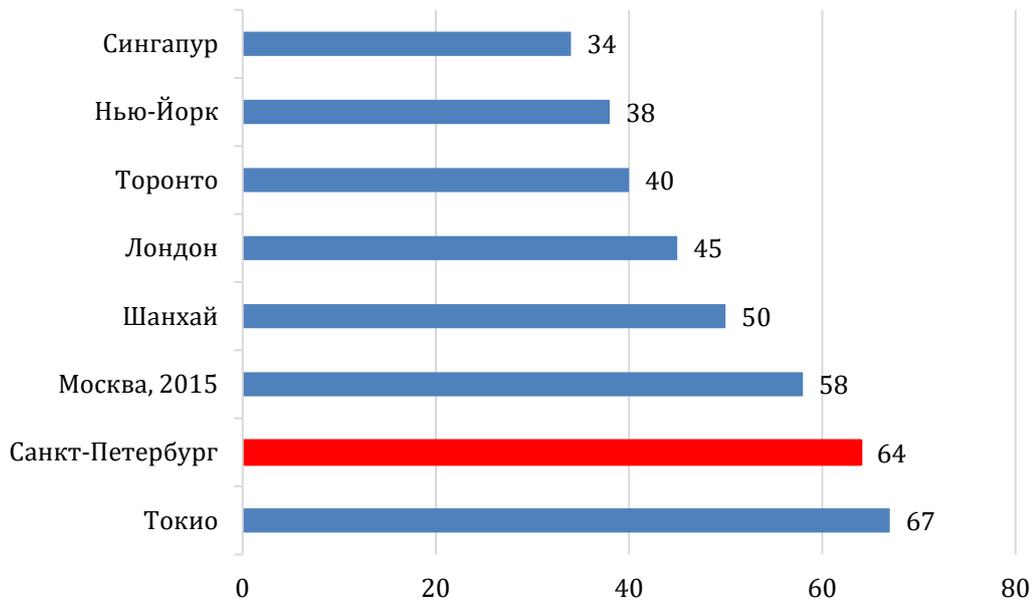
По информации на 2015 год, временные затраты на базовые перемещения в Санкт-Петербурге составляли более часа. В табл. 1 представлены показатели транспортных корреспонденций для личного транспорта (ЛТ) и ПТОП<sup>3</sup>.

При этом пределы комфортного времени в пути в одну сторону для поездки с трудовыми целями (наиболее распространенный вид корреспонденций) составляют не более 50 минут для 8-часового рабочего дня. Далее, на рис. 1, представлено сравнение времени корреспонденций для крупнейших в мире городов и агломераций.

Таблица 1. Показатели затрат для ЛТ и ПТОП

Показатель	ЛТ	ПТОП
Средняя длина корреспонденции, км	15,7	16,1
Среднее время поездки, мин. (в границах города)	75 мин (64 мин)	65 мин (54 мин)
Средняя скорость поездки, км/ч	12,6	14,3

<sup>3</sup> Концепция развития транспортной системы Санкт-Петербурга 2017–2038 гг. (перспектива до 2048 г.). — URL: [https://krti.gov.spb.ru/media/uploads/userfiles/2017/03/22/Презентация\\_материалов\\_КТС.pdf](https://krti.gov.spb.ru/media/uploads/userfiles/2017/03/22/Презентация_материалов_КТС.pdf) (дата обращения: 18.12.2022).



**Рис. 1.** Среднее время в пути с трудовыми целями в мегаполисах

Как видно из диаграммы, даже в московской агломерации — самой крупной в России — время трудовых корреспонденций ниже, чем в Санкт-Петербурге, и всего на 16 % превышает предельное значение комфортного времени в пути. В Санкт-Петербурге же этот показатель превышен на 28 %.

Исходя из проведенного выше анализа, длительность транспортной корреспонденции с трудовой целью выступает объективным критерием оценки транспортных затрат. Ее целевое значение определено как разность планового значения для 2023 г. по комплексной схеме организации дорожного движения<sup>4</sup> (составляет 55 минут) и временных затрат на перемещение от станции метро периферийного района к станциям метро делового центра города (составляет в среднем 20 минут). Оно стремится к значению 35 минут.

## 2. Методика оптимизации транспортных затрат

В данной методике предполагается добиться сокращения транспортных затрат путем перераспределения поездок в системе через внедрение в нее новых объектов — ТПУ.

<sup>4</sup> Комплексная схема организации дорожного движения Санкт-Петербурга. — URL: [https://www.gov.spb.ru/static/writable/ckeditor/uploads/2019/11/29/13/КСОДД\\_Санкт-Петербурга.pdf](https://www.gov.spb.ru/static/writable/ckeditor/uploads/2019/11/29/13/КСОДД_Санкт-Петербурга.pdf) (дата обращения: 24.12.2022).

В основе распределения поездок лежит энтропийный подход, уже доказавший свою эффективность в практике петербургской (ленинградской) школы транспортного моделирования [15]. Целевая функция формулируется как:

$$\text{Max } f(T_{ij}) = \frac{T!}{\prod_{ij} T_{ij}!}, \quad (1)$$

где  $T_{ij}$  — число поездок из района  $i$  в район  $j$ .  
Ограничения [16]:

$$\sum_j T_{ij} = P_i; \quad (2)$$

$$\sum_i T_{ij} = A_j; \quad (3)$$

$$\sum_i \sum_j T_{ij} \cdot c_{ij} = C, \quad (4)$$

где  $P_i$  — общее число отправлений из района;  
 $A_j$  — общее число прибытий в район;  
 $c_{ij}$  — обобщенные затраты на поездку;  
 $C$  — общие расходы на поездки в системе.  
Заменим натуральным логарифмом в (1):

$$\text{Max} \left( \ln \left( f(T_{ij}) \right) \right) = \text{Max} \left( \ln(T!) - \sum_{ij} \ln(T_{ij}!) \right). \quad (5)$$

Тогда, используя метод множителей Лагранжа:

$$\ln(T!) - \sum_{ij} \ln(T_{ij}!) + \sum_i \lambda_i \cdot \left( P_i - \sum_j T_{ij} \right) + \sum_j \lambda_j \cdot \left( A_j - \sum_i T_{ij} \right) + \beta \cdot \left( C - \sum_i \sum_j T_{ij} \cdot c_{ij} \right). \quad (6)$$

Взяв первые частные производные по  $T_{ij}$  и приравняв их к 0, получим:

$$\frac{\partial L}{\partial T_{ij}} = -\ln(T_{ij}) - \lambda_i - \lambda_j - \beta \cdot c_{ij} = 0, \quad (7)$$

где  $L$  — лагранжиан;

$\lambda_i, \lambda_j, \beta$  — множители Лагранжа.

Из (7):

$$T_{ij} = e^{-\lambda_i} \cdot e^{-\lambda_j} \cdot e^{-\beta \cdot c_{ij}}. \quad (8)$$

Подставим (8) в (2) и (3):

$$e^{-\lambda_i} \sum_j e^{-\lambda_j} \cdot e^{-\beta \cdot c_{ij}} = P_i \Rightarrow e^{-\lambda_i} = \frac{1}{\sum_j e^{-\lambda_j - \beta \cdot c_{ij}}} \cdot P_i. \quad (9)$$

$$e^{-\lambda_j} \sum_i e^{-\lambda_i} \cdot e^{-\beta \cdot c_{ij}} = A_j \Rightarrow e^{-\lambda_j} = \frac{1}{\sum_i e^{-\lambda_i - \beta \cdot c_{ij}}} \cdot A_j. \quad (10)$$

И заменим дроби коэффициентами  $a_i$  и  $b_j$  соответственно. Получим:

$$T_{ij} = a_i \cdot P_i \cdot b_j \cdot A_j \cdot e^{-\beta \cdot c_{ij}}. \quad (11)$$

При решении подобной оптимизационной задачи требуется рассматривать широкую вариацию маршрутов, их комбинирование с учетом задержки на пересадки и согласованность маршрутного расписания в целом. Сделать это вручную даже для сравнительно малых городов со слабо развитой маршрутной сетью довольно затруднительно. Но, когда речь заходит о городской агломерации, подобная задача становится невыполнимой без применения специального программного обеспечения. Для моделирования используются различные программные пакеты, например PTV Vision Traffic, ЕММЕ/2. Они позволяют получать информацию о сложных взаимозависимостях в пределах одной или нескольких систем транспорта, что и позволяет создавать оптимальную

транспортную модель. В данной методике расчеты производятся в PTV Visum с применением стандартной 4-ступенчатой модели<sup>5</sup>.

Предварительно производится анализ мобильности граждан на основе статистических данных и формируется цифровой двойник транспортной сети исследуемой агломерации (на основании данных из открытых геоинформационных систем).

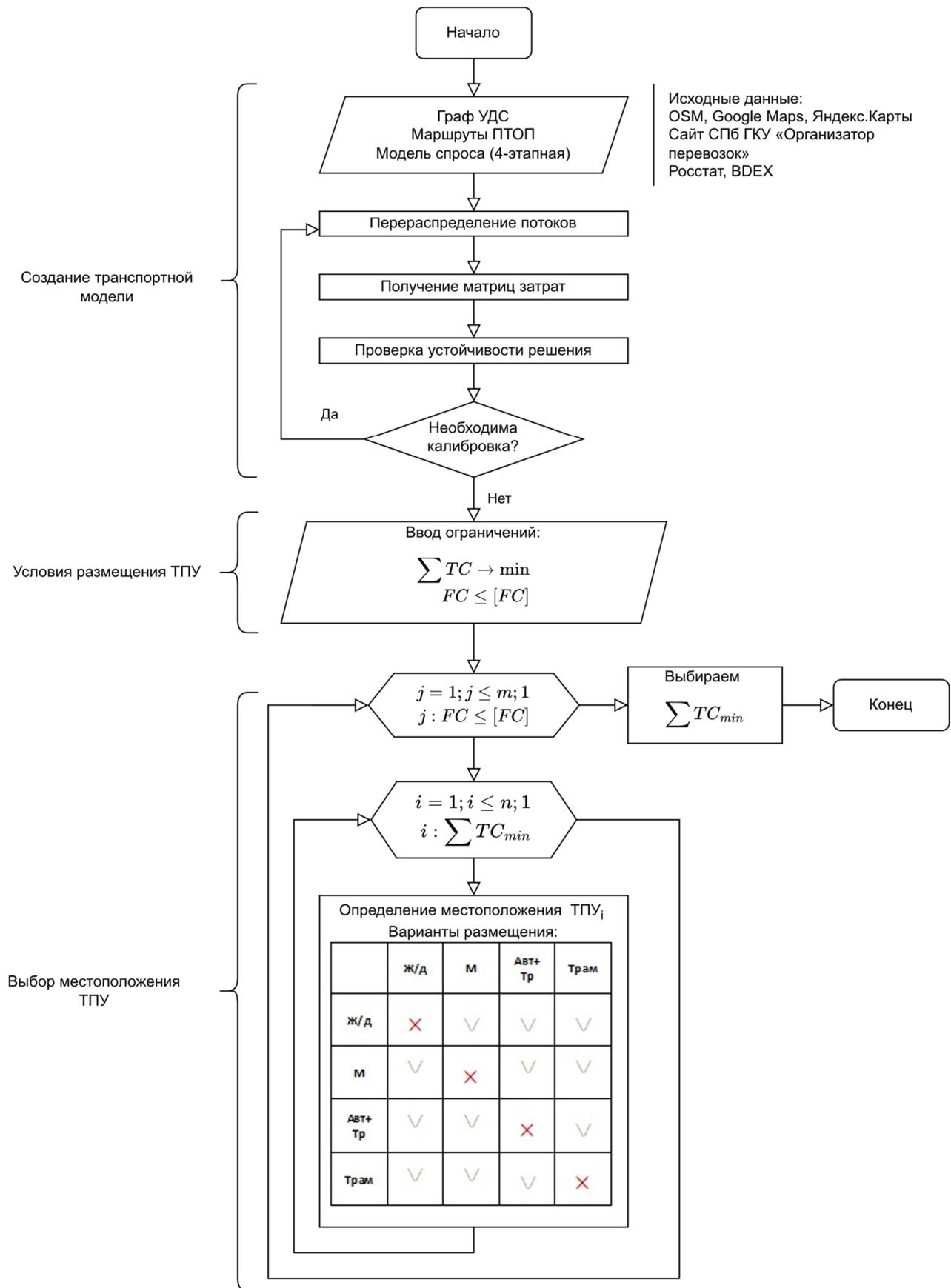
Моделирование производится итерационно с изменением способов размещения пересадочных узлов в сети и коэффициентов (8) при расчете. Для каждой итерации производится оценка матриц затрат с точки зрения достижения целевого значения. Отметим, что время пересадки в узле не должно превышать 5 минут<sup>6</sup>. Чтобы выполнить данное условие, в модели ТПУ задаются как остановки с временем перехода 0 минут и временем ожидания транспорта для пересадки 5 минут. На рис. 2 представлен алгоритм тестирования сценариев размещения.

В таблице, представленной в алгоритме, Ж/д — это железнодорожная станция, М — станция метрополитена, Авт + Тр — остановки автобусов и троллейбусов, Трам — трамвайные остановки. В ней предложены варианты пересечения маршрутов ПТОП в узле для размещения ТПУ. Отметим, что при определении местоположения ТПУ в узле может находиться сразу несколько вариантов пересечения, но не менее одного, предложенного в таблице алгоритма. Например, «М/Авт + Тр» и «Трам/М» одновременно.

Ограничение по количеству ТПУ в системе обусловлено финансовыми затратами на их строительство. Приоритет размещения ТПУ рекомендуется отдавать железнодорожным станциям и станциям метрополитена, так их подвижные составы обладают сравнительно большей вместимостью, чем у иных видов ПТОП, а их расписание более стабильно и предсказуемо в сравнении с наземным городским транспортом, что делает данные транспортные узлы зоной притяжения крупных пассажиропотоков.

<sup>5</sup> PTV Visum 18. Руководство пользователя. — PTV GROUP, 2018. — 3669 с.

<sup>6</sup> СП 42.13330.2016. Свод правил. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01—89 (утв. Приказом Минстроя России от 30 декабря 2016 г. № 1034/пр) (ред. от 19 декабря 2019 г.).



**Рис. 2.** Алгоритм тестирования сценариев интеграции ТПУ в транспортную сеть:  
УДС — улично-дорожная сеть,  $TC$  и  $FC$  — временные и финансовые затраты соответственно

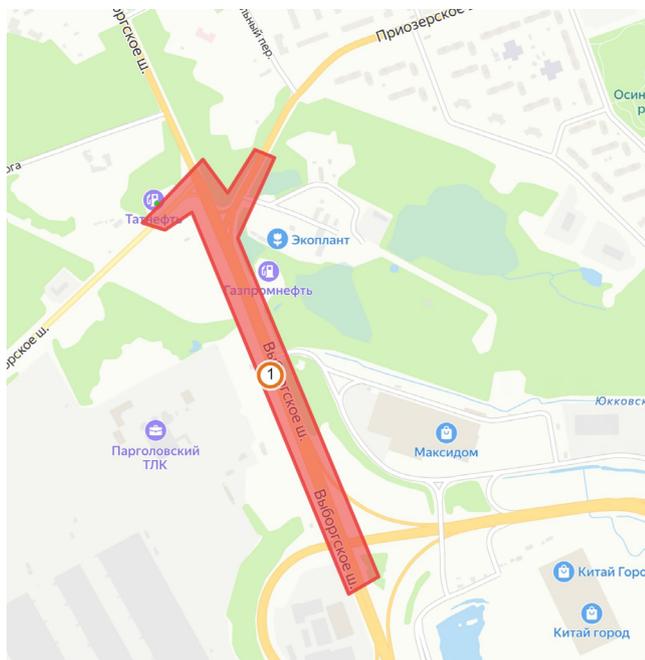
### 3. Применение методики на примере агломерации Сертолово — Осиновая Роцца — Парголово

Предварительно была сформирована модель транспортной сети северо-западной агломерации Санкт-Петербурга. Для анализа мобильности населения были отобраны следующие районы:

- 1) п. Парголово (административно входит в состав Выборгского р-на);
- 2) тер. Осиновая Роцца (административно входит в состав п. Парголово);
- 3) муниципальный округ (МО) Светлановское — муниципальный округ Выборгского р-на (не включая п. Парголово);
- 4) МО Шувалово-Озерки — муниципальный округ Выборгского р-на;
- 5) г. Сертолово Ленинградской области.

В модели административные границы этих населенных пунктов приняты как границы транспортных районов.

Основными транспортными артериями, связующими данные районы, являются Выборгское шоссе для автотранспорта и Выборгское направление железной дороги для поездов пригородного сообщения. Помимо этого, в Выборгском р-не есть доступ к синей линии метрополитена — станциям метро Парнас, Проспект Просвещения, Озерки и Удельная.

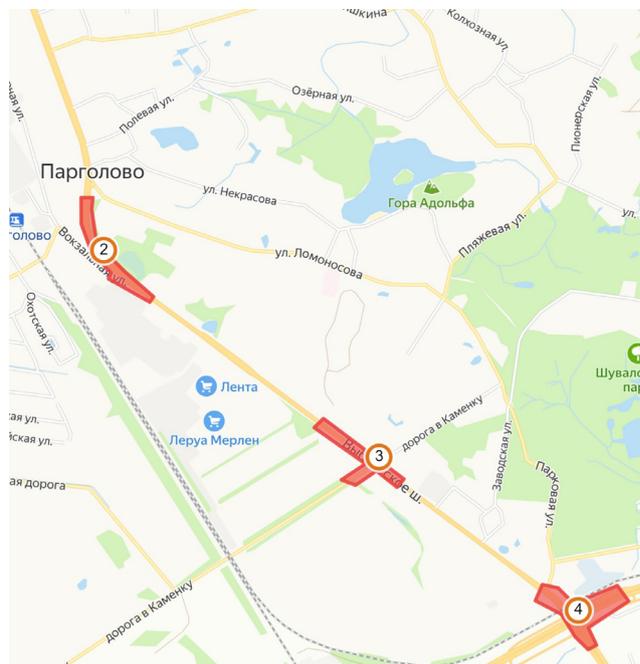


**Рис. 3.** Зона затрудненного движения: 1 — развилка

Выборгское шоссе в настоящий момент является загруженной магистралью, особенно на интервале от развилки до съезда на Суздальское шоссе. Ежедневно в часы пик образуются заторы, особенно в зонах примыканий, где часто возникают ДТП. Наиболее распространены столкновения на съезде с Суздальского шоссе в направлении области, на примыкании Вокзальной улицы (ДТП может спровоцировать затор в оба направления), на развилке (примыкание Кольцевой автодороги и Приозерского шоссе), реже — на примыкании дороги на Каменку. На рис. 3 и 4 отмечены зоны, в которых наиболее часто образуются заторы.

Численность населения районов, информация о количестве трудящихся получена на основе данных Росстата и Петростата, а также информационного агрегатора VDEX. Распределение жителей по возрастам, типу занятости в каждом муниципальном образовании принято пропорционально общему числу жителей в каждой возрастной группе для Санкт-Петербурга (или Ленинградской области при расчете г. Сертолово) в целом:

$$C_{ab} = \frac{N_b \cdot n_{aСПб}}{N_{СПб}}, \quad (12)$$



**Рис. 4.** Зоны затрудненного движения на Выборгском шоссе: 2 — примыкание ул. Вокзальной; 3 — примыкание дороги на Каменку; 4 — съезд с ш. Суздальского

Таблица 2. Матрица временных затрат ПТОП

5 × 5			1	2	3	4	5
	Имя		п. Парголово	Осиновая Роща	МО Светлановское	МО Шувалово-Озерки	г. Сертолово
1	п. Парголово	165,75	0,00	24,71	81,68	33,49	25,87
2	Осиновая Роща	193,84	25,38	0,00	91,26	42,38	34,82
3	МО Светлановское	302,65	70,71	76,65	0,00	73,88	81,40
4	МО Шувалово-Озерки	194,43	35,05	41,51	74,35	0,00	43,52
5	г. Сертолово	181,15	26,36	33,16	80,46	41,17	0,00
	Сумма		157,49	176,03	327,75	190,93	185,61

где  $C_{ab}$  — количество жителей  $a$ -й социальной группы в  $b$ -м муниципальном округе;  
 $N_b$  — количество жителей в  $b$ -м муниципальном округе;  
 $n_{aСПб}$  — количество жителей  $a$ -й социальной группы в Санкт-Петербурге;  
 $N_{СПб}$  — количество жителей в Санкт-Петербурге.

Аналогично получено количество учащихся, число рабочих мест и т. д. для обозначенных выше муниципальных округов (МО), исходя из значений показателей для г. Санкт-Петербурга или Ленинградской области.

На основе статистических данных разработаны слои спроса, отражающие наиболее распространенные для жителей типы корреспонденций. Они содержат корреспонденции с трудовыми и бытовыми целями для различных групп населения. Каждому слою присвоен соответствующий сегмент спроса — в данной модели сегмент  $C$  для ЛТ и сегмент  $X$  для ПТОП. В RTV Visum сегменты спроса можно увидеть во вкладке Список (Сегменты спроса). Для каждого сегмента спроса рассчитаны матрицы затрат. Так как критерием оптимизации определено время поездки на общественном транспорте, то для расчета выбраны все матрицы, связанные с временными затратами: время поездки, ожидания транспорта и пешеходных переходов для общественного транспорта.

Для удобства сравнения из указанных выше матриц сформирована суммарная матрица временных затрат. Как видно из табл. 2, в матрице представлены суммарные показатели по временным затратам между каждой моделируемой парой: район — источник, район — цель. Данная матрица отражает текущую транспортную

ситуацию и является референсной. Для каждого варианта размещения ТПУ рассчитана аналогичная матрица и произведено сравнение на предмет достижения целевого значения.

В исследовании было проведено сравнение 3 вариантов размещения транспортных узлов.

Первый вариант базируется на идее размещения ТПУ в соответствии с программой развития транспортной системы Санкт-Петербурга<sup>7</sup>. Из 61 узла, указанного в программе, 4 будут построены в пределах моделируемых районов, на рис. 5 представлена схема их размещения.

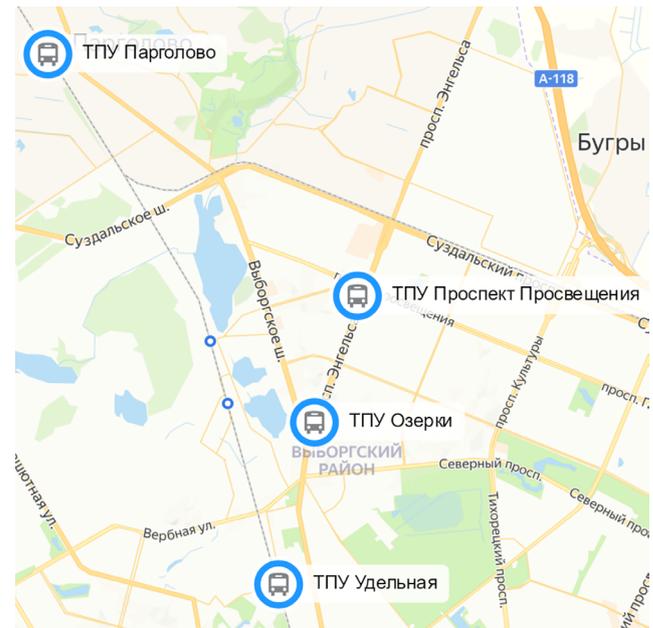
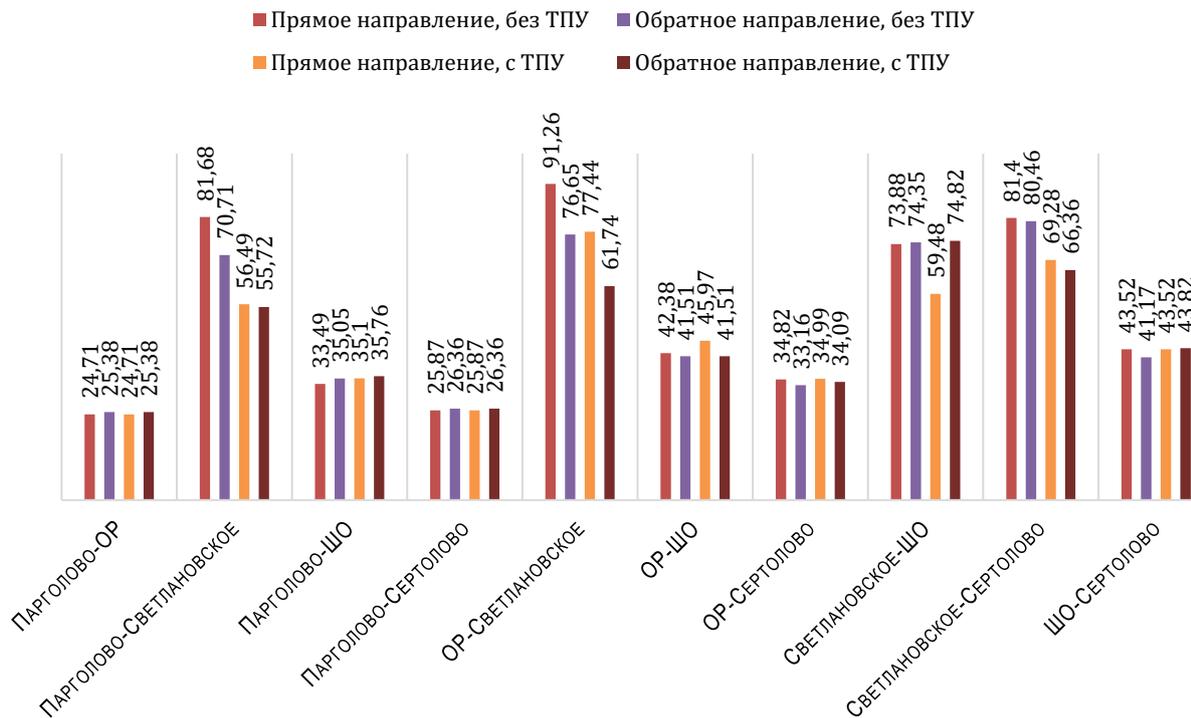


Рис. 5. Первый вариант размещения ТПУ

<sup>7</sup> О государственной программе Санкт-Петербурга «Развитие транспортной системы Санкт-Петербурга»: Постановление правительства Санкт-Петербурга от 30 июня 2014 г. № 552 (ред. от 16 февраля 2022 г.) // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/822403631> (дата обращения: 07.11.2022).



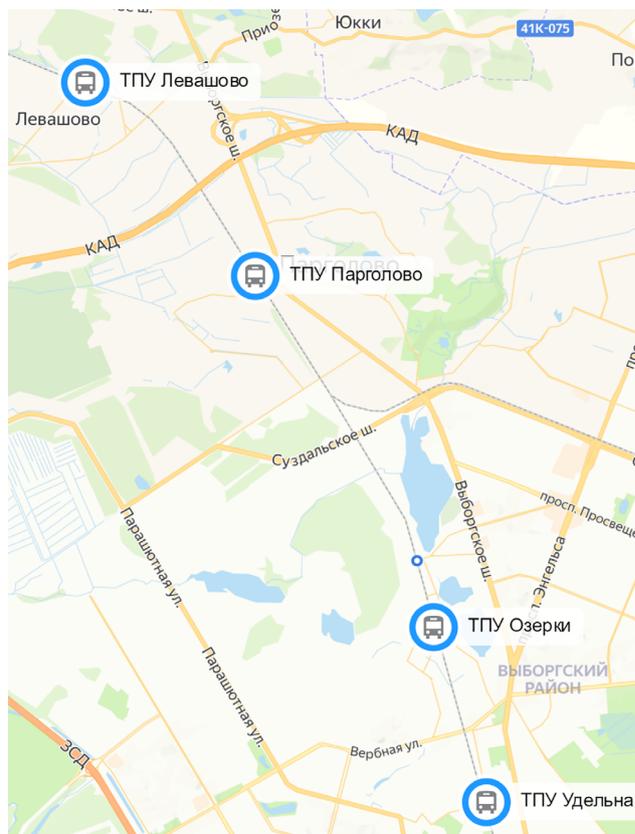
**Рис. 6.** Изменения времени перемещения между транспортными районами для 1 сценария

На рис. 6 представлено сравнение значений референсной матрицы и полученной после добавления ТПУ в транспортную модель. На данной и последующих диаграммах используются следующие сокращения: ОР — Осиновая Роща, ШО — МО Шувалово-Озерки.

Как видно из диаграммы, внедрение данной схемы ТПУ позволило почти на четверть сократить время перемещения из г. Сертолово в МО Светлановское и в обратную сторону, также на 30 % уменьшилось время перемещения в МО Светлановское из Парголово и на 20 % в обратную сторону, также приблизительно на 20 % сократилось время перемещения из МО Светлановское в Осиновую Рощу, в обратном направлении корреспонденция уменьшилась чуть менее заметно — на 15 %. Время перемещения между некоторыми районами, находящимися в непосредственной близости друг от друга, возросло. Вероятно, к таким результатам привело размещение ТПУ на базе железнодорожных станций в МО Светлановское и п. Парголово.

В связи с чем второй вариант сконцентрирован на идее размещения ТПУ на остановках поездов пригородного сообщения. Базой для размещения пересадочных узлов выступили железнодорожные станции Левашово, Парголово, Озерки, Удельная. Станция Шувалово

не была учтена, поскольку не имеет поблизости остановок ПТОП для осуществления пересадки. Второй вариант размещения представлен на рис. 7.



**Рис. 7.** Второй вариант размещения ТПУ

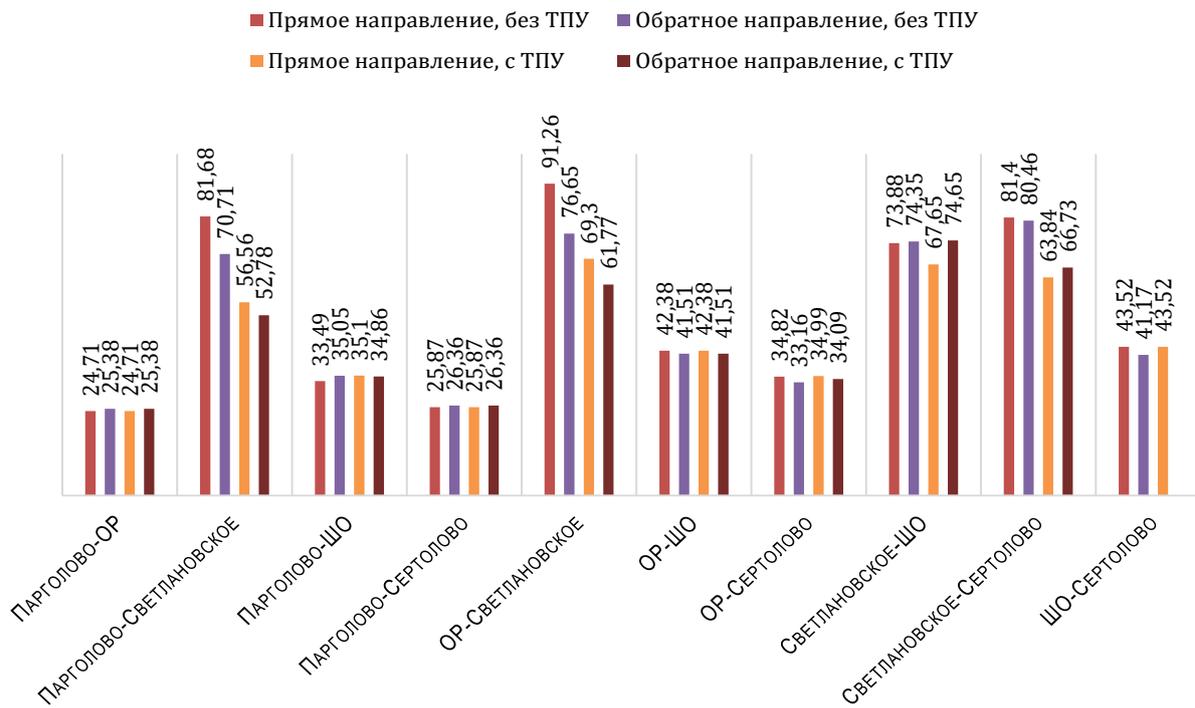


Рис. 8. Изменения времени перемещения между транспортными районами при втором варианте размещения ТПУ

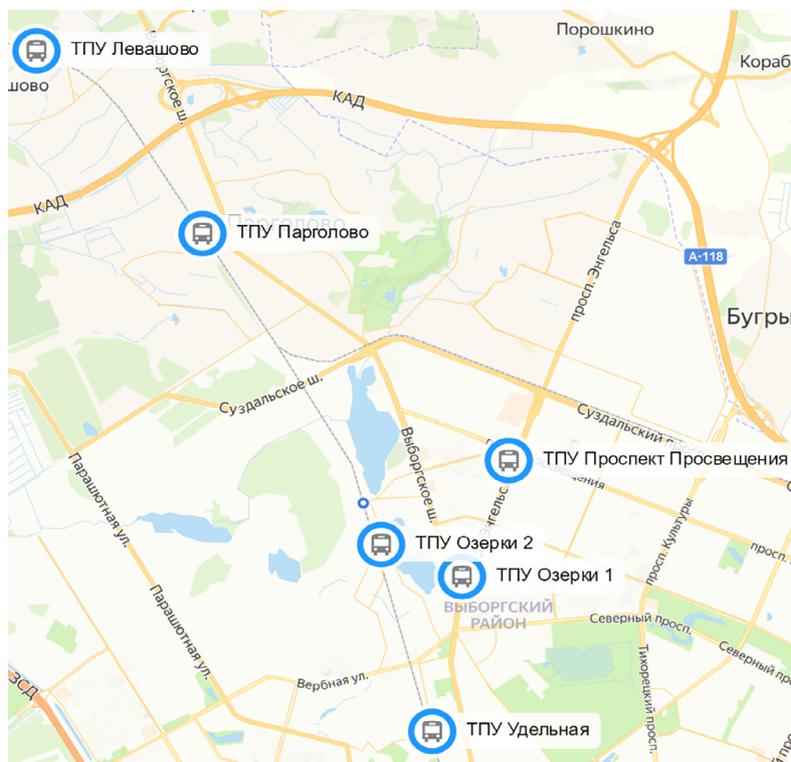


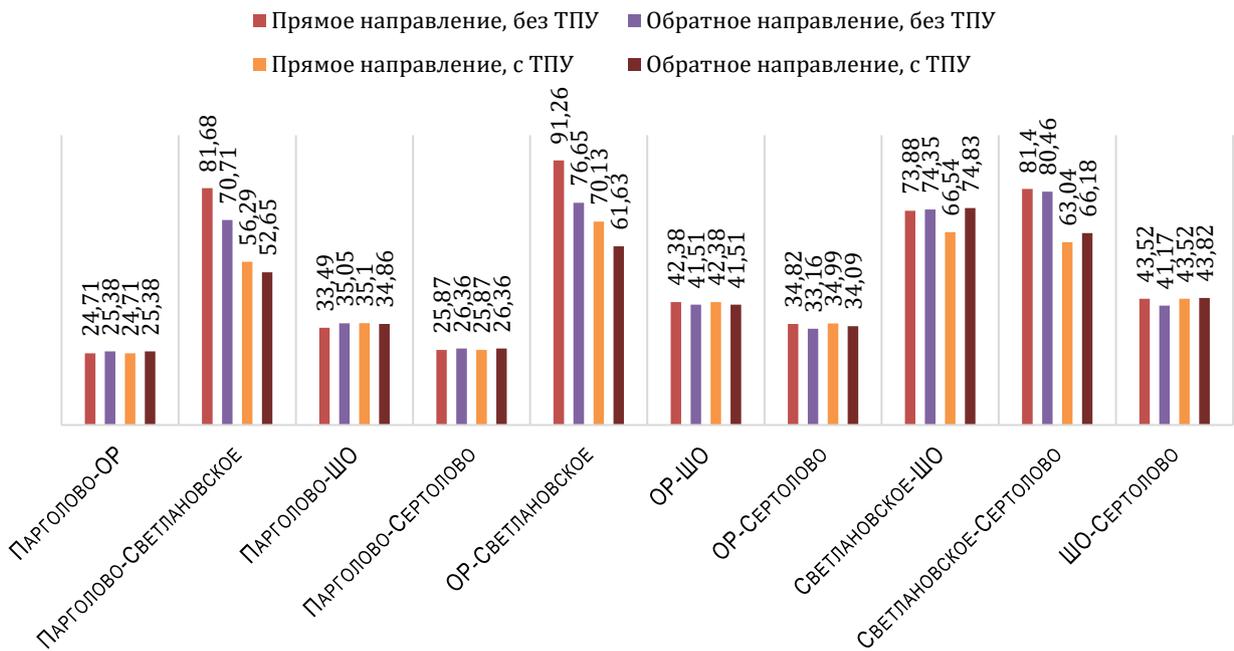
Рис. 9. Третий вариант размещения ТПУ

На рис. 8 представлена диаграмма сравнения референсных значений с полученными при моделировании второго варианта размещения.

Удалось добиться незначительных улучшений — на несколько минут по сравнению с предыдущим вариантом размещения, при

этом ситуация с корреспонденциями в МО Шувалово-Озерки стала хуже, приблизившись суммарно к исходной модели.

В третьем варианте размещения проверим гипотезу о необходимости сохранения ТПУ у станций метро Проспект Просвещения и



**Рис. 10.** Изменения времени перемещения между транспортными районами при третьем варианте размещения ТПУ

Озерки, добавив их ко второй схеме размещения. При этом свяжем ТПУ на ж/д станции Озерки с ТПУ на станции метро Озерки, формально он будет считаться единым узлом. Схема размещения представлена на рис. 9.

На рис. 10 представлена диаграмма сравнения референсных значений с полученными при моделировании третьего варианта размещения.

Удалось добиться суммарного снижения транспортных затрат по сравнению с предыдущими вариантами размещения ТПУ, что делает данный вариант размещения наиболее оптимальным.

### Заключение

Данная статья была посвящена анализу проблем транспортного планирования в городских агломерациях и применению методик, включающих автоматизированные способы решения транспортных задач.

Разработан алгоритм для выбора местоположения ТПУ в транспортной сети городской агломерации. Алгоритм был применен на модели агломерации Сертолово — Осинвая Роща — Парголово. В рамках исследования было произведено сравнение трех вариантов размещения пересадочных узлов в транспортной сети и предложена наиболее эффективная схема их размещения с точки зрения достижения

целевого показателя — наименьших временных затрат на поездку в ПТОП.

В целом методика оптимизации транспортных затрат показала свою эффективность. С внедрением пересадочных узлов в систему удалось добиться существенного — 20 % и более — снижения длительности транспортных корреспонденций. Наибольшую эффективность показало внедрение ТПУ в зоны мультимодальных пересадок с высокой интенсивностью пассажиропотока: узлы наземный транспорт/метро и наземный транспорт/железная дорога.

Целевого значения удалось добиться только по одной паре районов — п. Парголово в сообщении с МО Шувалово-Озерки. Это связано с особенностями транспортной сети самой агломерации, в которой перемещение между периферийными районами при любом варианте размещения ТПУ завязано на наземном транспорте по единственной магистрали — Выборгскому шоссе вплоть до п. Парголово. Это, в свою очередь, вызывает перегрузку магистрали, которая в своей текущей конфигурации не способна справляться с резко возрастающим в часы пик трафиком. Возникающие заторы снижают среднюю скорость движения ПТОП и нарушают график его работы, что влечет за собой увеличение временных затрат на поездку. ▲

## Библиографический список

1. Сакульева Т. Н. Транспортный спрос как функция состояния транспортной сети / Т. Н. Сакульева // Управление. — 2019. — Т. 7. — № 3. — С. 47–53. — DOI: 10.26425/2309-3633-2019-3-47-53.
2. Сибирко И. В. Мобильность населения как социальный приоритет государственной транспортной политики и фактор повышения качества жизни населения России / И. В. Сибирко, Е. А. Степушина // Проблемы и перспективы экономики и управления: материалы VII Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, июль 2018 г.). — СПб.: Свое издательство, 2018. — С. 5–10.
3. Goel P. Understanding transport users' preferences for adopting electric vehicle based mobility for sustainable city: A moderated moderated-mediation model / P. Goel, A. Kumar, S. Parayitam et al. // Journal of Transport Geography. — 2023. — № 106.
4. Плотников Д. Г. Применение коротких кольцевых маршрутов для оптимизации транспортной сети района / Д. Г. Плотников, Д. Р. Стахин, А. В. Баните // Транспорт России: проблемы и перспективы — 2020: материалы юбилейной Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 10–11 ноября 2020 года / ФГБУН Институт проблем транспорта им. Н. С. Соломенко Российской академии наук, 2020. — СПб.: Институт проблем транспорта им. Н. С. Соломенко РАН, 2020. — Т. 2. — С. 41–45.
5. Глушенкова Е. Д. Анализ методического обеспечения качества транспортного обслуживания населения / Е. Д. Глушенкова, Л. Н. Клепцова // Вопросы современной науки: проблемы, тенденции и перспективы: материалы III Международной научно-практической конференции, Новокузнецк, 5–6 декабря 2019 года / Отв. ред. Э. И. Забнева. — Новокузнецк: Зебра, 2019. — С. 37–41.
6. Караблин О. В. Об особенностях формирования транспортной системы и транспортного спроса Ростовской агломерации / О. В. Караблин // Бюллетень транспортной информации. — 2021. — № 9(315). — С. 38–44.
7. Плотников Д. Г. Подход к оптимизации структуры системы управления транспортными потоками / Д. Г. Плотников, А. В. Баните, Д. Р. Стахин // Транспорт России: проблемы и перспективы — 2020: материалы юбилейной Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 10–11 ноября 2020 года. СПб.: Институт проблем транспорта им. Н. С. Соломенко РАН, 2020. — С. 45–48.
8. Lindkvist H. How sustainable are urban transport services? A comparison of MaaS and UCC / H. Lindkvist, L. Melander // Research in Transportation Business & Management. — 2022. — № 43.
9. Савенкова Т. И. Возможности повышения качества транспортного обслуживания населения Санкт-Петербурга / Т. И. Савенкова // Системный анализ и логистика. — 2019. — № 3(21). — С. 29–44.
10. Borbás P. D. The Importance of the Quality of Urban Public Transport and a Methodological Example for Weighting the Typical Quality Criteria / P. D. Borbás // Regionalnaya ekonomika. Yug Rossii. — 2022. — С. 89–96.
11. Odame P. K. State of public transport services to Ghana's disability population: Lessons from public transport operators in the Accra Metropolitan Assembly / P. K. Odame, E. F. Sam, R. O. Amoako-Sakyi et al. // Social Sciences & Humanities Open. — 2023. — № 7(1).
12. Durand A. Public transport as travel alternative for users of Special Transport Services in the Netherlands / A. Durand, T. Zijlstra // Journal of Transport & Health. — 2023. — № 29.
13. Zhou T. Exploring the determinants of public transport usage and shared mobilities: A case study from Nanchang, China / T. Zhou, J. Zhang, L. Peng et al. // Sustainable Cities and Society. — 2022. — № 87.
14. Калиберда Е. А. Сравнительный анализ систем оплаты проезда общественного транспорта / Е. А. Калиберда, И. В. Федотова, В. В. Нестеров // International Journal of Advanced Studies. — 2019. — Т. 9. — № 1–2. — С. 38–44.
15. Лосин Л. А. Исследование влияния стоимости проезда на транспортный спрос методом математического моделирования / Л. А. Лосин, Н. В. Булычева // Бюллетень результатов научных исследований. — 2022. — № 2. — С. 179–194.
16. Nes van R. Lecture 2.2. Trip Distribution / R. van Nes. — URL: <https://ocw.tudelft.nl/wp-content/uploads/2.2-Trip-distribution.pdf> (accessed: December 25, 2022).

TRANSPORT AUTOMATION RESEARCH, 2023, Vol. 9, No. 1, pp. 87–98  
DOI: 10.20295/2412-9186-2023-9-01-87-98

## Formation of Transport Hub System in Urban Agglomeration

## Information about authors

**Salnikova A. D.**, Postgraduate Student.

E-mail: salnikova.ad@edu.spbstu.ru

**Banite A. V.**, Assistant. E-mail: banite\_av@spbstu.ru

**Plotnikov D. G.**, PhD in Engineering, Associate Professor.

E-mail: plotnikov\_dg@spbstu.ru

**Kashtalinsky A. S.**, PhD in Engineering, Associate Professor.

E-mail: ask1188@mail.ru

Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, Institute of Mechanical Engineering, Materials and Transport, Higher School of Transport, St. Petersburg

**Abstract:** The article presents a methodology for optimizing transport costs with the use of modeling in PTV Visum software package. Based on the analysis of transport problems in large urban agglomerations, a quality criterion was chosen for the assessment of passenger transport performance. An approach has been proposed to introduce transport hub systems with the purpose to minimize time spending on transfer, in particular, and on trip by public transport in a whole. This optimization method for transport spending represents an algorithm of 3 key blocks: the formation of transport model for being studied agglomeration, the placement conditions and the choice of transport hub locations. The model is formed on the base of 4-step approach, the trips distribution in a network is based on entropy approach which is considered in the second section in more details. The placement conditions go from an idea to minimize time total spending on moving, the number of hubs being introduced is limited by their construction financing.

The approach application is demonstrated on the example of northwestern urban agglomeration Sertolovo-Osinovaya Roshcha-Pargolovo which represents being active-built-up residential districts on St. Petersburg city border. The specificities of its

transport network, including also hubs and highways with complicated traffic, are determined. Based on open sources and statistical data, a transport model was developed, its calibration was pursued. 3 options for placing transport hubs on network of the agglomeration are presented. As a result of the research, the analysis for the options of transport hub placements is presented and the most promising option from the view of purpose meaning achievement for hub placement in being considered agglomeration is proposed.

**Keywords:** transport planning; urban agglomeration; transport hub; street-and-road network; transport modeling.

## References

1. Sakul'eva T. N. Transportnyy spros kak funktsiya sostoyaniya transportnoy seti [Transport demand as a function of the state of the transport network]. *Upravlenie* [Management]. 2019, vol. 7, iss. 3, pp. 47–53. DOI: 10.26425/2309-3633-2019-3-47-53. (In Russian)
2. Sibirko I. V., Stepushina E. A. *Mobil'nost' naseleniya kak sotsial'nyy prioritet gosudarstvennoy transportnoy politiki i faktor povysheniya kachestva zhizni naseleniya Rossii. Problemy i perspektivy ekonomiki i upravleniya: materialy VII Mezhdunar. nauch. konf. (g. Sankt-Peterburg, iyul' 2018 g.)* [Population mobility as a social priority of the state transport policy and a factor in improving the quality of life of the population of Russia. Problems and prospects of economics and management: materials of the VII Intern. scientific conf. (St. Petersburg, July 2018)]. SPb.: Svoe izdatel'stvo Publ., 2018, pp. 5–10. (In Russian)
3. Goel P., Kumar A., Parayitam S. et al. Understanding transport users' preferences for adopting electric vehicle based mobility for sustainable city: A moderated moderated-mediation model. *Journal of Transport Geography*, 2023, Iss. 106.
4. Plotnikov D. G., Stakhin D. R., Banite A. V. Primenenie korotkikh kol'tseykh marshrutov dlya optimizatsii transportnoy seti rayona [The use of short ring routes to optimize the transport network of the area]. *Transport Rossii: problemy i perspektivy — 2020: materialy yubileyey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Sankt-Peterburg, 10–11 noyabrya 2020 goda. FGBUN Institut problem transporta im. N. S. Solomenko Rossiyskoy akademii nauk, 2020* [Transport of Russia: problems and prospects — 2020: materials of the anniversary International Scientific and practical conference, St. Petersburg, November 10–11, 2020. FGBUN Institute of Transport Problems. N. S. Solomenko of the Russian Academy of Sciences, 2020.]. SPb.: Institut problem transporta im. N. S. Solomenko RAN Publ., 2020, vol. 2, pp. 41–45. (In Russian)
5. Glushenkova E. D., Kleptsova L. N. Analiz metodicheskogo obespecheniya kachestva transportnogo obsluzhivaniya naseleniya [Analysis of methodological support of the quality of transport services for the population]. *Voprosy sovremennoy nauki: problemy, tendentsii i perspektivy: materialy III Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Novokuznetsk, 5–6 dekabrya 2019 goda. Otv. red. E. I. Zabneva* [Questions of modern science: problems, trends and prospects: materials of the III International scientific and practical conference, Novokuznetsk, 5– December 6, 2019. Rep. ed. E. I. Zabneva.]. Novokuznetsk: Zebra Publ., 2019, pp. 37–41. (In Russian)
6. Karablin O. V. Ob osobennostyakh formirovaniya transportnoy sistemy i transportnogo sprosa Rostovskoy aglomeratsii [On the features of the formation of the transport system and transport demand of the Rostov agglomeration]. *Byulleten' transportnoy informatsii* [Bulletin of transport information]. 2021, Iss. 9(315), pp. 38–44. (In Russian)
7. Plotnikov D. G., Banite A. V., Stakhin D. R. Podkhod k optimizatsii struktury sistemy upravleniya transportnymi potokami [An approach to optimizing the structure of the traffic management system]. *Transport Rossii: problemy i perspektivy — 2020: materialy yubileyey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Sankt-Peterburg, 10–11 noyabrya 2020 goda* [Transport of Russia: problems and prospects - 2020: materials of the anniversary International scientific and practical conference, St. Petersburg, November 10–11, 2020]. SPb.: Institut problem transporta im. N. S. Solomenko RAN Publ., 2020, pp. 45–48. (In Russian)
8. Lindkvist H., Melander L. How sustainable are urban transport services? A comparison of MaaS and UCC. *Research in Transportation Business & Management*. 2022, Iss. 43.
9. Savenkova T. I. Vozmozhnosti povysheniya kachestva transportnogo obsluzhivaniya naseleniya Sankt-Peterburga [Opportunities to improve the quality of transport services for the population of St. Petersburg]. *Sistemnyy analiz i logistika* [System analysis and logistics]. 2019, Iss. 3(21), pp. 29–44. (In Russian)
10. Borbás P. D. The Importance of the Quality of Urban Public Transport and a Methodological Example for Weighting the Typical Quality Criteria. *Regionalnaya ekonomika. Yug Rossii*, 2022, pp. 89–96.
11. Odame P. K., Sam E. F., Amoako-Sakyi R. O. et al. State of public transport services to Ghana's disability population: Lessons from public transport operators in the Accra Metropolitan Assembly. *Social Sciences & Humanities Open*, 2023, Iss. 7(1).
12. Durand A., Zijlstra T. Public transport as travel alternative for users of Special Transport Services in the Netherlands. *Journal of Transport & Health*, 2023, Iss. 29.
13. Zhou T., Zhang J., Peng L. et al. Exploring the determinants of public transport usage and shared mobilities: A case study from Nanchang, China. *Sustainable Cities and Society*, 2022, Iss. 87.
14. Kaliberda E. A., Fedotova I. V., Nesterov V. V. Sravnitel'nyy analiz sistem oplaty proezda obshchestvennogo transporta [Comparative analysis of public transport fare systems]. *International Journal of Advanced Studies*. 2019, vol. 9, Iss. 1–2, pp. 38–44. (In Russian)
15. Losin L. A., Bulycheva N. V. Issledovanie vliyaniya stoimosti proezda na transportnyy spros metodom matematicheskogo modelirovaniya [Study of the influence of fare on transport demand by mathematical modeling]. *Byulleten' rezul'tatov nauchnykh issledovaniy* [Bulletin of the results of scientific research]. 2022, Iss. 2, pp. 179–194. (In Russian)
16. Nes van R. Lecture 2.2. Trip Distribution. Available at: <https://ocw.tudelft.nl/wp-content/uploads/2.2-Trip-distribution.pdf> (accessed: December 25, 2022).