

Управление процессами перевозок/ Transportation Processes Management

Научная статья

УДК 656.025.2

ББК 39.244.3; 39.284

<https://doi.org/10.51955/2312-1327-2026-3-121>

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАИЛУЧШИХ МЕСТ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОБЪЕКТОВ ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА

*Данил Дмитриевич Варкентин,
Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения,
Санкт-Петербург, Россия*

Аннотация. Данная статья посвящена совершенствованию общественного городского транспорта. В работе представлена методика выбора наилучших мест для остановочных пунктов общественного пассажирского транспорта с использованием средств программного обеспечения AnyLogistix и Vissim.

Тема работы является актуальной, так как она направлена на совершенствование инфраструктуры городского пассажирского транспорта, уменьшение транспортной загруженности и применение программного информационного обеспечения для расчётов больших данных в области общественного транспорта. Актуальность исследования обусловлена быстрым ростом городов и необходимостью оптимизации транспортных систем для комфорта и эффективности перемещения населения. Появление зон с высокой плотностью населения становится причиной загруженности дорог, что обостряет необходимость развития общественного транспорта и повышения эффективности его использования. Методика апробирована на примере ЖК «Дудергофская линия 3» (Санкт-Петербург), что позволило значительно сократить время пешеходного доступа пассажиров к остановкам, уменьшить загруженность дорог и улучшить транспортную доступность.

Ключевые слова: общественный транспорт; затруднённое движение транспорта; повышенная плотность населения; пассажирские перевозки; транспортный поток; маршруты городского транспорта; график следования; инфраструктура городского транспорта; пассажиропоток; городское планирование.

Для цитирования:

Варкентин, Д. Д. Методика определения наилучших мест при проектировании объектов пассажирского транспорта / Д. Д. Варкентин // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. – 2026. – Том 13. – № 03. – С. 121-140. – <https://doi.org/10.51955/2312-1327-2026-3-121>

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Original research article

METHOD FOR DETERMINING THE BEST LOCATIONS IN THE DESIGN OF PASSENGER TRANSPORT FACILITIES

*Danil D. Varkentin,
Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation,
Saint Petersburg, Russia*

Abstract. This article is devoted to the improvement of public urban transport. The paper presents a methodology for selecting the best locations for public passenger transport stops using the AnyLogistix and Vissim software tools.

The topic of the work is relevant, as it aims to improve the infrastructure of urban passenger transport, reduce traffic congestion, and use software for big data calculations in the field of public transport. The relevance of the study is due to the rapid growth of cities and the need to optimize transportation systems for the comfort and efficiency of population movement. The emergence of areas with high population density leads to traffic congestion, which exacerbates the need for the development of public transport and improving its efficiency. The methodology was tested on the example of the Duderhofskaia Line 3 residential complex (Saint Petersburg), which significantly reduced the time passengers spent walking to bus stops, reduced traffic congestion, and improved transport accessibility.

Keywords: public transport; traffic congestion; increased population density; passenger transportation; traffic flow; urban transport routes; timetable; urban transport infrastructure; passenger traffic; urban planning.

To cite this article:

Varkentin, D. D. (2026). Method for determining the best locations in the design of passenger transport facilities. *Crede Experto: transport, society, education, language*, vol. 13, No. 3, pp. 121-140 DOI: <https://doi.org/10.51955/2312-1327-2026-3-121> (in Russ.).

Conflict of Interest: The author declares no conflict of interest.

Введение (Introduction)

Постоянное развитие городских территорий создает неотложную потребность в быстром и эффективном ответе в области развития дорожной инфраструктуры, особенно в сфере общественного транспорта, который является основным средством городской мобильности на плотно заселенных городских территориях. Рост городов, сопровождающийся увеличением плотности населения, выдвигает на первый план необходимость обеспечения доступности и эффективности транспортной системы.

В условиях нарастающих темпов урбанизации особое значение приобретает развитие транспортной инфраструктуры, включающей в себя не только дороги, но и систему общественного транспорта, обеспечивающую безопасное и комфортное перемещение людей в городской среде. Развитие транспортной инфраструктуры на сегодняшний день является ключевым фактором для смягчения негативных последствий от перегруженности дорог.

В книге В. Р. Вучика «Транспорт в городах, удобных для жизни» подчеркивается необходимость создания сбалансированной транспортной

системы, особенно в густонаселенных районах. Автор аргументирует важность развития высококачественного общественного транспорта, способного составить конкуренцию личному автомобилю. Преобладание частного автотранспорта в городах с высокой плотностью населения неизбежно приводит к чрезмерному использованию городского пространства, транспортным заторам и значительному загрязнению воздуха, существенно ухудшая качество городской среды [Вучик, 2011, с. 27-32].

Рост плотности населения усугубляет проблемы загруженности дорог, экологии и доступности, что подчеркивает необходимость оптимизации размещения объектов пассажирской инфраструктуры [Цибулка, 1987, с. 3]. Существующие подходы зачастую не учитывают комплексное влияние новых остановок на транспортную систему, что может приводить к увеличению заторов [Ryzhkov et al., 2016].

Целью исследования является разработка методики определения оптимальных мест для остановочных пунктов, сочетающей анализ доступности для пассажиров, минимизацию времени в пути и нивелирование негативного влияния на транспортные потоки.

Данное исследование актуально, так как направлено на совершенствование инфраструктуры городского пассажирского транспорта с целью сокращения времени поездок за счёт повышения доступности общественного транспорта в развивающихся районах новой интенсивной застройки.

Задачами исследования являются:

- повышение пешеходной доступности общественного транспорта;
- сокращение времени транспортных корреспонденций на городском общественном транспорте.

Материалы и методы (Materials and Methods)

В работе представлена методика рационализации расположения объектов инфраструктуры пассажирского транспорта. Данная методика состоит из нескольких этапов, которые учитывают как удобство пользования объектом транспорта, так и влияние на существующую инфраструктуру.

На первом этапе был проведён анализ размещения объектов общественного транспорта с учётом демографических особенностей района, специфики транспортной сети и действующих маршрутов. По итогам анализа выявлены недостатки существующих маршрутов и определены возможности перспективного развития пассажирского транспорта.

На втором этапе с помощью программы AnyLogistix была рассчитана пешеходная доступность существующей и альтернативной остановок для жителей района. Кроме того, программа позволила найти наилучшее местоположение остановки с учётом пассажиропотоков существующей застройки и крупных торговых комплексов, расположенных на территории района.

На третьем этапе выбран ряд мест для анализа возможности строительства остановочного пункта, произведён полный разбор критериев, влияющих на транспортную мобильность горожан, при помощи решения многокритериальной задачи. В рамках многокритериального анализа учитываются не только скорость и доступность транспортной инфраструктуры, но и другие критерии, влияющие на эффективность транспортного обслуживания, такие как доступность маршрутов общественного транспорта, которая непосредственно влияет на распределение пассажиропотоков. Жители густонаселённых районов получают возможность выбора из множества маршрутов, что позитивно скажется на общей эффективности распределения пассажиропотоков. Кроме того, в оценку включены факторы, определяющие потенциал развития района: близость к транспортной инфраструктуре (включая торговые центры и крупные склады), а также долгосрочные планы развития города.

Важность многокритериальной оценки подчеркнута в статье «Уровень удовлетворенности студентов вузов использованием различных видов транспорта» [Level..., 2022]. Для решения многокритериальной задачи в данном случае был выбран метод анализа иерархий (МАИ), поскольку он позволяет выделить наиболее важные критерии, присвоив им более высокие значения. Это позволит выделить ключевой фактор, в данном случае расстояние от остановки до мест проживания, принимая во внимание также важность других факторов, таких как доступность транспортной сети и время в пути.

В матрице сравнения критериев и в матрицах попарного сравнения альтернатив по каждому даётся оценка от 1 до 10 одному пункту относительно другого, где 2 – минимальное превосходство, а 10 – максимальное. Далее производится математическая обработка этих оценок, которая позволяет определить весовые коэффициенты каждого критерия и альтернативы. Оценка собственного нормализованного вектора рассчитывается по формуле 1:

$$w'_i = \sqrt[n]{a_{i1} * a_{i2} * ... a_{in}}, i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где a_{i1} – элемент матрицы парных сравнений в i -ой строчке;

n – размерность матрицы.

Далее рассчитываются оценки векторов как отношение собственного нормализованного вектора к сумме нормализованных векторов по формуле 2:

$$w_i = \frac{w'_i}{\sum_{i=1}^n w'_i} . \quad (2)$$

Далее необходимо вычислить оценку собственного числа λ для матриц парных сравнений, она определяется по формуле 3:

$$\lambda = w_1 * \left(\sum_{i=1}^n a_{i1} \right) + \dots + w_n * \left(\sum_{i=1}^n a_{in} \right) . \quad (3)$$

Оценка собственного числа необходима для расчета отклонения от согласованности. Отклонение от согласованности называют индексом согласованности (ИС) и определяют по формуле 4:

$$\text{ИС} = \frac{|\lambda - n|}{n - 1} . \quad (4)$$

Индекс согласованности показывает, насколько согласованы парные сравнения критериев или альтернатив в МАИ. Для определения допустимости согласованности суждений вычисляют отношение согласованности (ОС) по формуле 5:

$$\text{ОС} = \frac{\text{ИС}}{\text{СИ}} , \quad (5)$$

где СИ – случайный индекс, полученный в результате моделирования, в данном случае требуются два значения: для $n = 4$, СИ = 0,9, для $n = 7$, СИ = 1,32. Отношение согласованности показывает, насколько согласованы оценки при сравнении критериев или альтернатив в рамках МАИ. Если отношение согласованности превышает установленный порог (обычно 0,1), то это говорит о том, что оценки не согласованы и требуется пересмотр иерархии или оценок.

После нахождения оценок векторов для всех критериев и всех пунктов по каждому из критериев можно найти оценку интегрального вектора приоритетов по каждому из пунктов по формуле (6). Оценки интегрального вектора являются конечным решением задачи и показывают, насколько выгоднее выбрать тот или иной пункт.

$$W_i = \sum_{i=1}^k w_i * wp_i, \quad (6)$$

где w_i – оценки интегральных векторов критериев;

wp_i – оценки интегральных векторов пунктов по каждому критерию;

k – количество учитываемых критериев.

Таким образом, в конечной методике будут учтены основные параметры, характеризующие транспортную доступность для жителей района: скорость корреспонденций на общественном транспорте; доступность общественного транспорта; эффективность распределения пассажиропотоков на общественном транспорте и потенциал развития территорий. Эти параметры позволят оценить комплексный уровень транспортной доступности и выделить наиболее перспективные зоны для развития инфраструктуры.

Для расчёта главного критерия – времени в пути до остановки – использовалась платформа «Яндекс карты», с помощью которой были найдены расстояния от домов до потенциальных остановок; в качестве весового коэффициента использовалось число квартир в домах. Среднее время от остановки до дома ti_{cp} . (сек.) было рассчитано для каждого дома в агломерации по формуле (7):

$$ti_{cp} = \frac{Li_{cp}}{v_{cp.ч}}, \quad (7)$$

где: Li_{cp} – расстояние от каждого дома до остановки в метрах;

$v_{cp.ч}$ – скорость движения человека, равная в среднем 0,8 метров в секунду.

Далее можно рассчитать среднее время в пути до остановочных пунктов для всей рассматриваемой территории, учитывая количество квартир и расположение жилых домов.

Среднее время по району в секундах T_{cp} рассчитывается по формуле 8:

$$T_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n (ti_{cp} * qi)}{\sum_{i=1}^n qi} \quad (8)$$

где: qi – количество квартир, расположенных в каждом доме (шт.).

Многоэтапная методика расчёта размещения транспортной инфраструктуры позволит не только определить наиболее подходящие места для размещения объектов транспорта, но и тщательно проанализировать их влияние на транспортную систему района в целом. Она обеспечивает

комплексный анализ влияния размещения новых объектов на транспортную систему района, учитывая множество взаимосвязанных факторов. Такой подход позволяет избежать негативных последствий, которые могут возникнуть при недостаточно продуманном планировании. Например, неправильное размещение остановочных пунктов может привести к увеличению транспортных заторов, ухудшению доступности некоторых районов или к неэффективному использованию имеющихся транспортных ресурсов. Данная методика позволяет оценить различные сценарии размещения объектов, а также их влияние на транспортные потоки, время в пути пассажиров, загруженность дорог и другие ключевые показатели. На основе полученных данных можно принять обоснованное решение, которое устраняет негативные последствия и повышает эффективность транспортной системы района. Более того, данный анализ позволяет учитывать не только краткосрочные, но и долгосрочные перспективы развития района, обеспечивая устойчивость и гибкость транспортной системы.

1. Анализ объектов общественного транспорта и перспектив их развития.

На первом этапе проведён поиск потенциальных мест расположения для остановки общественного транспорта при помощи платформы «Яндекс карты», учитывались географические и демографические характеристики района, а также особенности транспортной сети. Для исследования выбран новый район города Санкт-Петербурга – жилой комплекс «Дудергофская линия 3», который сталкивается на данный момент с транспортными проблемами, такими как загруженность транспортной сети, большое расстояние до остановок общественного транспорта и значительные временные потери при выезде из жилого комплекса в час пик. Загруженность дорог в утренний и вечерний пик представлена на рис. 1 и 2.



Рисунок 1 – Загруженность дорожной сети в вечерние часы пик
Figure 1 – Traffic congestion during evening rush hours

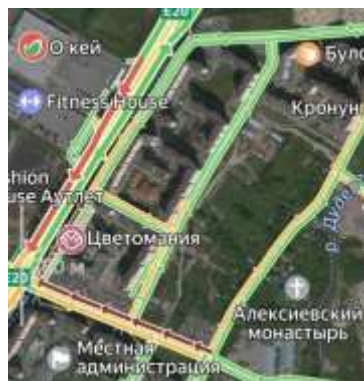


Рисунок 2 – Загруженность дорожной сети в утренние часы пик
Figure 2 –Traffic congestion during morning rush hours

Из-за высокой загруженности при выезде из жилого комплекса в часы пик маршруты пассажирского транспорта сталкиваются с задержками в пути. Так, 345-й маршрут, заезжающий на территорию жилого комплекса, при выезде из него в часы пик теряет до 10 минут, тогда как в непиковое время выезд занимает всего 2 минуты.

Район расположен возле одной из главных городских магистралей – Таллинского шоссе, по которому курсирует большое количество маршрутов общественного транспорта в разные точки города. Однако единственная остановка на Таллинском шоссе находится на самой окраине жилого комплекса, и расстояние до неё от домов, расположенных на противоположной окраине комплекса, превышает километр. При этом сама остановка располагается всего в 227 метрах от уже существующей остановки в соседнем, более старом районе и расположена возле закрытой парковки (рис. 3). Все перечисленные факторы снижают значимость остановки с точки зрения пешеходной доступности, основополагающего критерия при создании и проектировании объектов пассажирского транспорта. Несмотря на это, потенциальные места для размещения остановки в глубине района имеются (рис. 4).

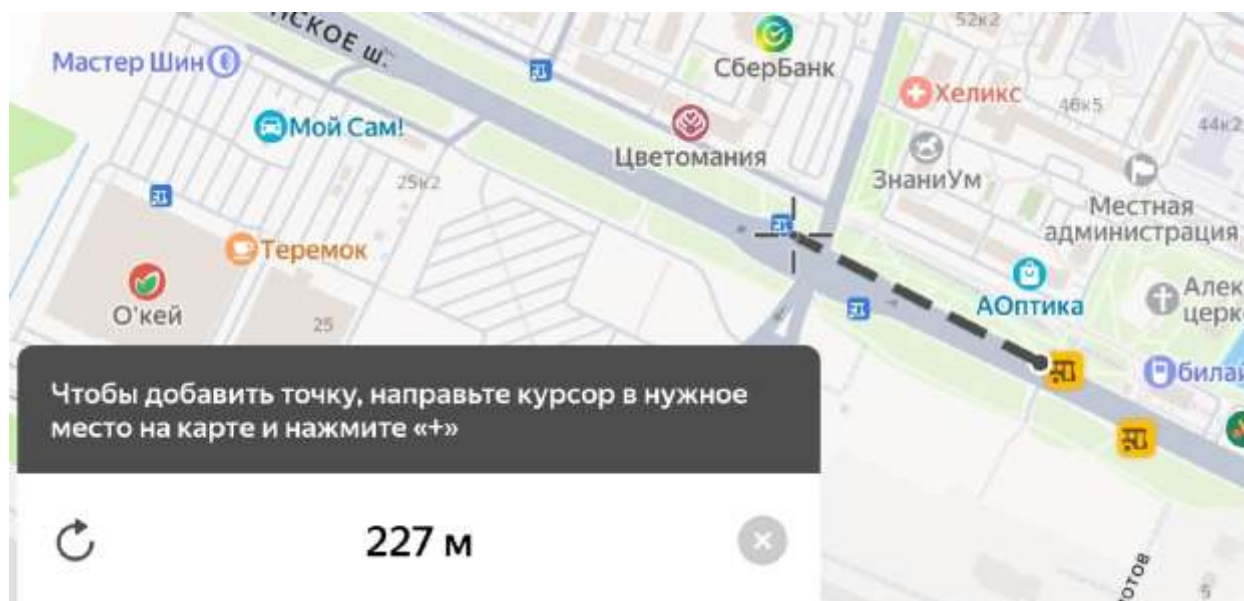


Рисунок 3 – Текущее расположение остановки
Figure 3 – Current location of the stop



Рисунок 4 – Возможное расположение остановки
Figure 4 – Possible location of the stop

На рис. 4 также показано потенциально пригодное место для размещения остановки на Таллинском шоссе. Оно находится в 216 метрах до начала полосы съезда на Волхонское шоссе и КАД и более чем в 450 метрах от самого съезда с магистрали – такого расстояния с запасом хватит для безопасного разгона автобуса до потока. Размещение остановки на противоположной стороне дороги целесообразно выполнить после съезда из торгового центра. Это решение соответствует требованиям к размещению остановок вне зон транспортных конфликтов, так как после выезда из ТЦ исключается пересечение траекторий автобуса и автомобилей, покидающих территорию комплекса, обеспечивается необходимая видимость для водителей и снижается риск ДТП.

Для сравнения: у торгового центра, расположенного по другую сторону КАД, остановка находится всего в 72 метрах от начала формирования аналогичной полосы для съезда на КАД и в 198 метрах от самого съезда (рис. 5).



Рисунок 5 – Расстояние от остановок до формирования съезда на КАД
Figure 5 – Distance from the stops to the beginning of the exit to the ring road

2. Расчёт расположения остановочных пунктов в AnyLogistix

Для решения задачи поиска наилучших мест размещения остановочных пунктов с помощью AnyLogistix необходимо задать потенциальных пользователей транспортной инфраструктуры – пассажиров, которыми в данном случае выступают жители района. В качестве клиентов задаются жилые помещения, находящиеся вблизи потенциальных остановок, при этом количество квартир приравнивается к числу потенциальных пассажиров. Подобный подход применялся в статье «Анализ взаимодействия между характеристиками зон влияния автобусных остановок и снижением пассажиропотока во время локдаунов COVID-19»: для каждой остановки определялось общее количество жителей в зоне влияния путём создания 300-метровой буферной зоны, а численность населения бралась из данных переписи [Analysis..., 2022]. В настоящем исследовании в качестве показателей нагрузки используются квартирность домов и данные о посещаемости крупных торговых центров, расположенных в районе.

AnyLogistix можно применять как для проверки уже существующих объектов общественного транспорта, так и для поиска наилучшего варианта их размещения. Программа позволяет произвольно добавлять пункты генерации пассажиров, что даёт возможность учитывать пассажиропотоки не только от жилых зон, но и от других объектов притяжения: крупных торговых центров и производственных территорий, исходя из показателей их дневных потоков. Полная версия программы дополнительно позволяет распределять потоки по реальной дорожной сети и учитывать издержки на эксплуатацию и

строительство транспортных объектов. Однако при расчётах пешеходной доступности частью этих возможностей можно пренебречь.

На рисунке 6 представлен расчёт пешеходной доступности остановок, выполненный в AnyLogistix. Согласно этому расчёту, общие издержки на подход к остановке сократились на 38 %. Кроме того, видно, что найденное решение практически совпадает с наилучшим вариантом расположения по охвату территорий, изображённым на рисунке 7.

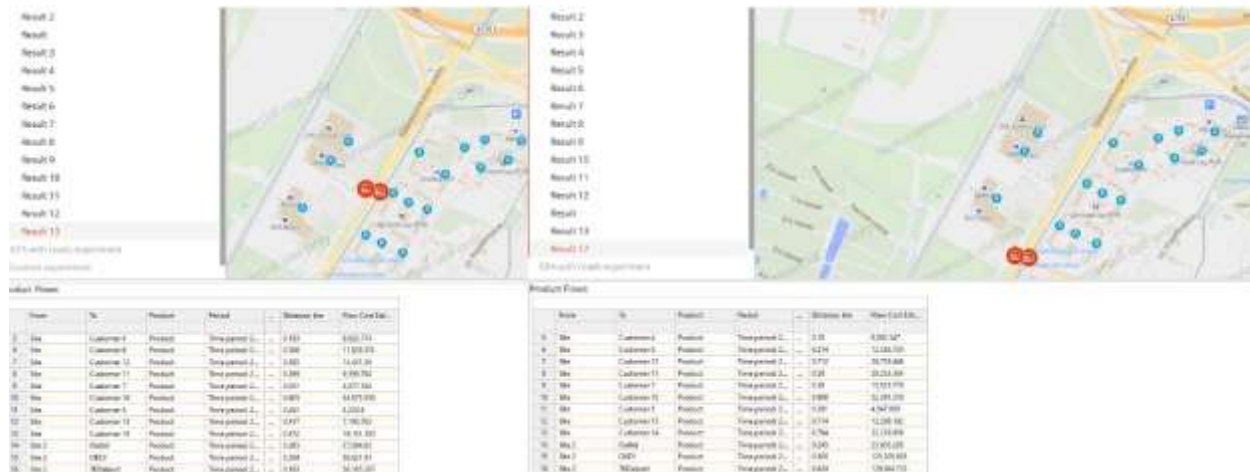
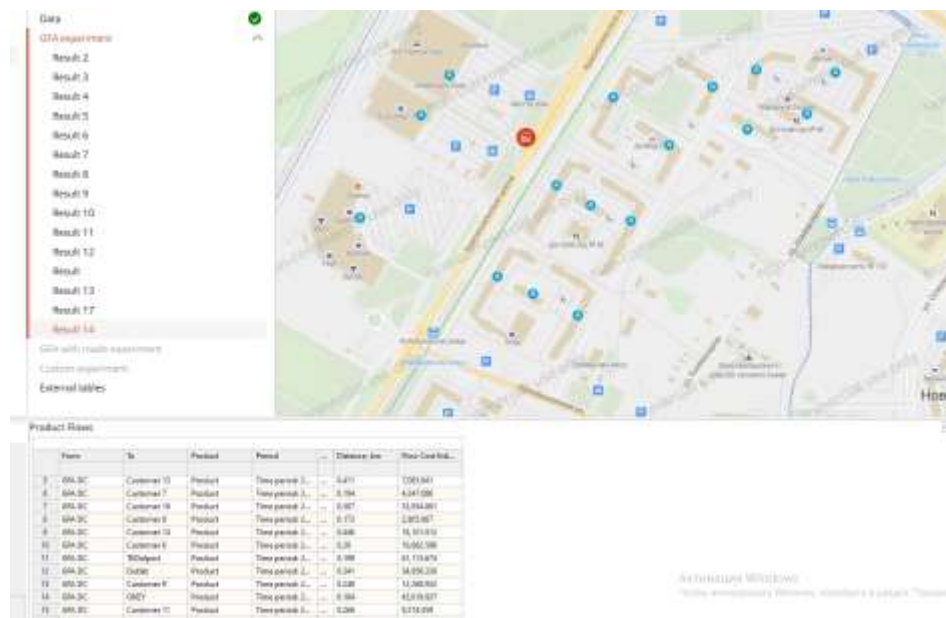


Рисунок 6 – Расчёт пешеходной доступности остановок в AnyLogistix
 Figure 6 – Calculation of walking distance to stops in AnyLogistix



3. Решение многокритериальной задачи

Сложность расчёта мест для строительства объектов транспортной инфраструктуры обусловлена необходимостью учитывать множество факторов, среди которых:

- доступность существующей транспортной сети, влияющая на провозную способность транспорта, равномерность распределения пассажиропотока и время ожидания транспорта;
- время в пути, зависящее от класса дорог и их загруженности в час пик;
- наличие существующих и планируемых объектов транспортной инфраструктуры.

Важно отметить, что фактор доступности остановок для населения, определённый при помощи AnyLogistix, является ключевым фактором, влияющим на эффективность транспортной инфраструктуры. Поскольку объекты общественного транспорта создаются в первую очередь для пассажиров, их доступность для населения является критическим фактором.

В данной работе в качестве основных критериев выступали: время в пути, затрачиваемое для того, чтобы добраться до остановки; время, теряемое в дороге в пиковые часы; общее время в поездке; существующие маршруты пассажирского транспорта (транспортная доступность), а также, в качестве дополнительных критериев, наличие объектов притяжения и перспективы развития территорий.

Далее с помощью МАИ было проведено сравнение мест размещения остановок. Сопоставлялись четыре варианта: реально существующие остановки (1) и (4); бывшая остановка маршрутного такси, расположенная неподалёку от наилучшего места с точки зрения критерия пешеходной доступности жилого комплекса (3); а также местоположение, определённое как наилучшее по результатам анализа местности и пешеходной доступности с учётом близости крупных торговых центров (2). Далее можно оценить каждый остановочный пункт в отдельности (см. рис. 8).



Рисунок 8 – Расположение остановочных пунктов
Figure 8 – Location of bus stops

После составления таблиц по формулам 1-5 можно рассчитать оценки векторов, а также отношение согласованности для всех критериев. Расчёты по критериям представлены в таблице 1. Аналогично рассчитываются оценки и для пунктов по каждому из критериев.

Таблица 1 – Расчёт весовых оценок критериев

Table 1 – Calculation of weight ratings of criteria

Критерии	Раст. до пас.	Загрузка дор.	Время в пути	Трансп орт	Место	Инфра стр.	Планы разв.	Оценка собственного нормализ. вектора	Оценки векторов
Раст. до пас.	1,0000	2,0000	3,0000	4,0000	5,0000	6,0000	7,0000	3,3800	0,3517
Загрузка дор.	0,5000	1,0000	2,0000	3,0000	4,0000	5,0000	6,0000	2,3184	0,2412
Время в пути	0,3333	0,5000	1,0000	2,0000	3,0000	4,0000	5,0000	1,5341	0,1596
Транспорт	0,2500	0,3333	0,5000	1,0000	2,0000	3,0000	4,0000	1,0000	0,1040
Место	0,2000	0,2500	0,3333	0,5000	1,0000	2,0000	3,0000	0,6518	0,0678
Инфрастр.	0,1667	0,2000	0,2500	0,3333	0,5000	1,0000	2,0000	0,4313	0,0449
Планы разв.	0,1429	0,1667	0,2000	0,2500	0,3333	0,5000	1,0000	0,2959	0,0308
	2,5929	4,4500	7,2833	11,0833	15,8333	21,5000	28,0000	9,6116	
	0,9118	1,0734	1,1625	1,1531	1,0738	0,9648	0,8619	7,2013	
Индекс соглас.	0,0336	Отноше ние	0,0254						

Расчёты векторов интегральных приоритетов, рассчитанные по формуле 6 по каждому из пунктов, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Расчёты векторов интегральных приоритетов

Table 2 – Calculations of integral priority vectors

Пункты	Критерии							Интегральные приоритеты
	Раст. до пас.	Загрузка дор.	Время в пути	Транспорт	Место	Инфрастр.	Планы разв.	
Критерии	0,3517	0,2412	0,1596	0,1040	0,0678	0,0449	0,0308	
1	0,0649	0,2495	0,2627	0,4000	0,2000	0,2500	0,2000	0,1975
2	0,2250	0,5579	0,4550	0,4000	0,2000	0,5000	0,4000	0,3762
3	0,5510	0,0963	0,1411	0,1000	0,2000	0,1250	0,2000	0,2753
4	0,1591	0,0963	0,1411	0,1000	0,4000	0,1250	0,2000	0,1510

Исходя из расчётов и сравнения мест, наилучшим местом для остановки стал пункт под номером (2). По результатам расчётов время в пути от дома до остановки в среднем уменьшится на 40% по сравнению с существующей

остановкой (1). При этом, если будут функционировать две остановки с учётом существующей, процент изменится незначительно.

По сравнению с существующей остановкой (4) и найденным с помощью GFA-анализа без учёта анализа местности пунктом (3), у пункта (2) будет существенное преимущество по показателям доступности общественного транспорта и времени в пути. Экономия времени в пути в час пик составит около 30 минут, поскольку пункт расположен на менее загруженном участке пути. Ожидание транспорта снизится с 8 до 2 минут, так как пункт располагается на основной транспортной магистрали, где курсирует множество маршрутов городского транспорта. Также пункт (2) оказался предпочтительнее по менее значимым показателям, таким как перспектива развития транспорта в будущем и доступность существующих объектов городской инфраструктуры, так как рядом с пунктом (2) расположен крупный торговый центр и планируется строительство железнодорожной станции. При этом по показателю времени в пути до остановки пункт (2) будет иметь преимущества по сравнению с остановками (4) и (1).

4. Проверка результатов влияния изменений на транспортный поток

Для проверки изменения транспортной ситуации может применяться программа транспортного моделирования Vissim 7. Данная проверка необходима, так как важно, чтобы внесённые в ходе работы изменения не повлияли негативно на транспортный поток в рассматриваемом районе, поскольку для оборудования остановок необходимо дополнительно обеспечить данную локацию пешеходным переходом через шоссе.

Программное обеспечение для имитационного моделирования Vissim широко применяется в транспортном планировании и исследовании. Его популярность обусловлена широким функционалом и возможностью решения различных задач, что подтверждается многочисленными исследованиями. В статье «Использование микро- и макро моделирования для эффективной организации дорожного движения» отмечается универсальность и широкий охват возможностей Vissim по сравнению с другими программами транспортного моделирования [Долгов и др., 2024]. В. С. Астахов и А. С. Беренгартен в своей работе подчеркивают интуитивно понятный интерфейс и профессиональную направленность программы [Беренгартен и др., 2024].

Широкий функционал программы позволяет решить множество вопросов, например, выбор конфигурации перекрестка. В ряде исследований продемонстрированы эффективные подходы к оптимизации организации дорожного движения. Так, в работе Е. В. Справцовой и Е. А. Мещеряковой [Справцева и др., 2021] замена Х-образного перекрёстка на кольцевой позволила добиться улучшения ключевых показателей транспортной эффективности. В исследовании Н. А. Никитина и Ю. Э. Савина [Никитин и др., 2019] проведён анализ различных конфигураций транспортных развязок с

учётом перспективы их дальнейшего развития и примыкания новых дорог. Кроме того, М. Х. Гатиятуллин и А. Ф. Хадимуллин [Гатиятуллин и др., 2019], используя программное моделирование в среде Vissim, подтвердили высокую эффективность применения координированного светофорного регулирования, что позволило сократить задержки транспортных потоков и повысить пропускную способность сети.

С. А. Андронов и О. В. Ульвачева с помощью Visum оптимизировали расписание автобусных маршрутов для обеспечения минимального времени ожидания при пересадке на железнодорожный транспорт, улучшив, таким образом, характеристики транспортного пересадочного узла [Андронов и др., 2022]. Использование подобных программ позволяет проводить всесторонний анализ и оптимизацию транспортной системы до внедрения изменений в реальной жизни, минимизируя риски и увеличивая эффективность инвестиций.

По результатам текущего исследования ситуация с загруженностью дорог в случае переноса остановки показала положительную динамику. Это обусловлено тем, что интервал времени прохождения стоп-линии будет уменьшен благодаря тому, что общественный транспорт будет останавливаться до затруднённого перекрёстка и не задерживать выезжающие автомобили. Так как на существующей остановке «Колобановская улица» отсутствует карман, из-за интенсивного движения автобусов после перекрёстка водителям большую часть времени доступна лишь одна полоса для движения прямо. Невозможность устройства кармана вызвана сложным рельефом, тогда как участок между торговым центром и остановкой отличается более ровным рельефом, что позволит установить остановки как со стороны жилого комплекса, так и со стороны торговых центров с учетом запланированного расширения шоссе в будущем.

Также в ходе экспериментов в Vissim удалось добиться улучшения движения потока за счёт установки дополнительных светофоров у ТЦ «Окей». Данные подтверждаются при анализе детекторов, встроенных в программу Vissim. На рисунке 9 представлена диаграмма с результатами экспериментов до и после изменений. Значительное улучшение транспортной ситуации объясняется уменьшением конфликтных зон, которые образуются между автомобилями, выезжающими из торгового центра, и потоком, следующим по Красносельскому шоссе. В часы пик ситуация усугубляется, так как часть автомобилей использует парковку торгового центра для того, чтобы объехать загруженный участок шоссе, тем самым мешая основному движению.

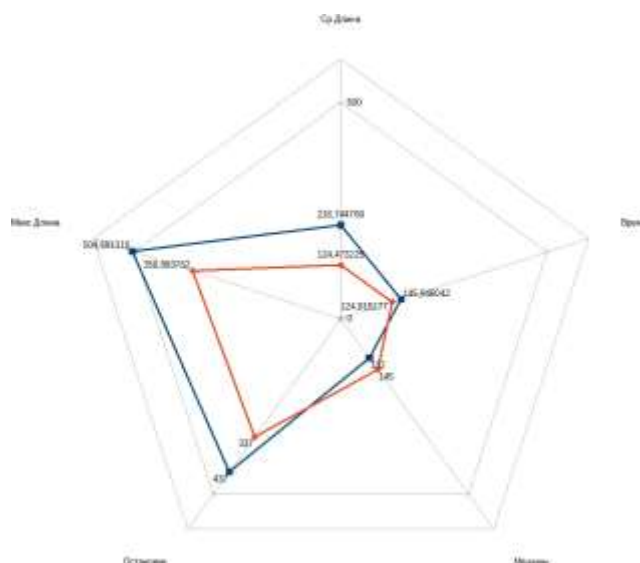


Рисунок 9 – Диаграмма изменений характеристик транспортного потока
Figure 9 – Diagram of changes in traffic flow characteristics

По итогам экспериментов в Vissim: на 31% уменьшилась длина очереди по Красносельскому шоссе, на 11% увеличилось количество проехавших машин и на 17% уменьшилось время в пути. Кроме улучшения дорожного движения, установка светофорного регулирования на выезде из ТЦ снизит аварийность на данном участке за счёт уменьшения конфликтных зон. Эксперименты проводились при равной интенсивности движения потоков.

Следует отметить, что для размещения остановки был выбран участок сужения дороги после заезда на территорию торгового центра. В настоящее время эта полоса используется преимущественно автобусами, что позволяет им сокращать время в пути. Однако в часы пик данной полосой, как и парковкой торгового центра, пользуются водители автомобилей, провоцируя конфликты. В случае будущего расширения шоссе сужение будет ликвидировано, что избавит поток от одной конфликтной точки. При таком развитии дороги целесообразно организовать остановку после выезда из торгового центра, а на самом выезде установить светофорное регулирование для предотвращения будущих конфликтных ситуаций. Кроме того, после расширения шоссе уместно будет предусмотреть надземный пешеходный переход, как на других более широких магистралях города.

Результаты (Results)

Результатами исследования стали экономический и социальный эффекты:

- уменьшение времени в пути от дома до остановки в среднем на 40% для жителей района;
- снижение времени в пути по Красносельскому шоссе в часы пик;
- снижение загруженности дорог.

Установка дополнительных светофорных объектов позволит оптимизировать движение и повысить безопасность дорожного движения за

счёт сокращения числа конфликтных зон и регулирования взаимодействия транспортных потоков.

Для города результаты проведённой работы станут актуальными в контексте градостроительного плана: намеченного расширения Красносельского шоссе и строительства железнодорожной станции «Новое Горелово».

Повышение пропускной способности Красносельского шоссе вследствие его расширения приведёт к снижению транспортной нагрузки и улучшению условий движения. Это, в свою очередь, сделает магистраль более привлекательной для размещения остановочных пунктов общественного транспорта. Реализация данных мероприятий обеспечит рост транспортной доступности железнодорожной станции «Новое Горелово» и будет способствовать формированию эффективной мультимодальной транспортной системы в данном районе.

Преимущества применения AnyLogistix для нахождения наилучших мест расположения объектов транспортной инфраструктуры:

- удобный ввод данных через карту и расчёт больших объёмов данных позволяют значительно ускорить процесс поиска;
- возможность задания любого количества необходимых на участке остановок, а также возможность задавать ограничения по расстоянию между потенциальными пользователями и объектами инфраструктуры;
- в полной версии программы доступна возможность находить наиболее целесообразные места для объектов транспортной инфраструктуры с учётом определённых участков дорог, что даёт возможность применения совместно с другими методами поиска.

Дискуссия (Discussion)

Важность системы пассажирского транспорта для города в целях обеспечения городской мобильности, улучшения экологии и безопасности описана в книге Э. А. Сафронова «Транспортные системы городов и регионов» [Сафронов, 2005, с. 9-12]. Также проблемам транспортной доступности городских территорий посвящена книга Яна Цибулки «Качество пассажирских перевозок в городах» [Цибулка, 1987]. В книгах описаны основные показатели транспортной доступности населения, такие как транспортные корреспонденции городов, характеристики транспортных потоков, показатели доступности городских территорий, развитость общественного транспорта, а также оценивается влияние развития общественного транспорта на общую эффективность работы городской транспортной системы. Кроме того, подчёркивается важность развития общественного транспорта и его преимущества для населения городов.

В работе А. Я. Рыжкова и П. В. Зюзина проведён анализ влияния различных решений по изменению инфраструктуры пассажирского транспорта в городах. Авторы рассмотрели широкий спектр мер, включая сокращение

маршрутов и изменения в транспортной политике городов. Исследование показало, что некоторые из этих решений привели к негативным последствиям, существенно снизив уровень транспортной доступности для населения, что позволяет сделать вывод о важности пассажирского транспорта для современных городов и необходимости тщательной проработки любых изменений в системе городского пассажирского транспорта [Ryzhkov et al., 2016].

Для плотно заселённой городской агломерации высокоскоростной транспорт является приоритетным, но он требует больших вложений и времени. Развитие и модернизация автобусных маршрутов благодаря их гибкости являются более простой альтернативой, что отмечается в работе Вибхора Гоэля и Анкера Чоудхари «Эффективная автобусная система, тематическое исследование Дехрадуна» [Goel et al., 2022]. В данной работе показано, что благодаря изменениям в расположении инфраструктуры транспорта доступность автобусов для жителей нового развивающегося района будет увеличена. Параллельно с этим будут минимизированы задержки в пути, так как остановка будет расположена до мест скопления транспорта на шоссе. Также отпадет необходимость въезда в плотно заселённую зону. Помимо этого, предложенная схема размещения позволяет существенно повысить транспортную доступность автобусных маршрутов для местных жителей. Остановка будет расположена в непосредственной близости от центра района, что более удобно по сравнению с текущей схемой, предусматривающей её размещение у границы территории. Также к положительным факторам можно отнести улучшение доступности торговых центров и будущей железнодорожной станции.

В работе Е. М. Волковой и В. М. Колесовой «Построение городской транспортной системы на базе интеллектуальных технологий» отмечается важность совмещения высокоскоростных видов транспорта большой вместимости и автобусов в целях использования последних для подвоза пассажиров к станциям магистрального транспорта (скоростного трамвая, метро или электрички) [Волкова и др., 2021].

Сочетание пространственного анализа (AnyLogistix), качественного (МАИ) и динамического (Vissim) анализа устраняет ключевой недостаток работ, фокусирующихся только на одном аспекте. Например, в исследовании «Проектирование транспортной сети: Процедура и применение к большой городской территории» [Cirriani et al., 2010] не учитывалось влияние остановок на загруженность дорог, что могло привести к переоценке их эффективности. Тогда как в исследованиях, посвящённых динамике дорожного движения Vissim, не затрагивается тема качества транспортного обслуживания.

Заключение (Conclusion)

В статье была представлена методика определения оптимального местоположения объектов пассажирской транспортной инфраструктуры.

Применение данной методики доказывает ее эффективность. На примере проблемного участка возле жилого комплекса «Дудергофская линия» удалось достичь улучшений по ряду показателей, характеризующих доступность территорий.

С помощью математических методов определено оптимальное место для новой остановки. Это решение сокращает время в пути для жителей комплекса, улучшает доступность крупного торгового центра и будущей железнодорожной станции. Помимо этого, пассажиры общественного транспорта не будут стоять в пробках в пиковое время, что положительно скажется на популяризации общественного транспорта и сократит время транспортных корреспонденций.

Важно отметить, что Красносельское шоссе, доступность которого будет также улучшена для местных жителей, является важной транспортной магистралью с интенсивным движением, по которой проходит множество маршрутов общественного транспорта в городском и областном направлениях. Это положительно скажется на минимизации времени совершения транспортных корреспонденций благодаря меньшему времени ожидания пассажирского транспорта и его большей вариативности.

Список литературы

- Андронов С. А. Синхронизация расписаний в пересадочном узле в среде PTV Visum / С. А. Андронов, О. В. Ульвачева // Системный анализ и логистика. 2022. № 2(32). С. 73-87. DOI 10.31799/2077-5687-2022-2-73-87. EDN IUYPQJ.
- Беренгартен А. С. Сравнение компьютерных продуктов для моделирования дорожного трафика PTV и SUMO / А. С. Беренгартен, В. С. Астахов // Вестник науки. 2024. Т. 5, № 6(75). С. 657-669. EDN LVWCOA.
- Волкова Е. М. Построение городской транспортной системы на базе интеллектуальных технологий / Е. М. Волкова, В. М. Колесова. // Азиатско-тихоокеанский регион: экономика, политика, право. 2021. Т. 23, № 1. С. 38-52. DOI 10.24866/1813-3274/2021-1/38-52. EDN LCQBXD.
- Вучик В. Р. Транспорт в городах, удобных для жизни / перевод с английского А. Калинина; под научн. ред. М. Блинкина. М.: Территория будущего, 2011. 574 с.
- Гатиятуллин М. Х. Увеличение пропускной способности на участке ул. Красноармейская г. Йошкар-Ола / М. Х. Гатиятуллин, А. Ф. Хадимуллин // Техника и технология транспорта. 2019. № 3(14). С. 5. EDN NLGIYC.
- Долгов М. В. Использование микро и макро моделирования для эффективной организации дорожного движения / М. В. Долгов, А. О. Әлімхан, В. В. Медведев // Актуальные проблемы транспорта и энергетики: пути их инновационного решения: Материалы XII Международной научно-практической конференции, Астана, 14 марта 2024 года. Астана: Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, 2024. С. 117-122. EDN DEUVJD.
- Никитин Н. А. Анализ эффективности различных конфигураций кольцевых пересечений при проектировании выезда из нового жилого района / Н. А. Никитин, Ю. Э. Савина // Информационные технологии и инновации на транспорте: Материалы 5-ой Международной научно-практической конференции, Орёл, 22–23 мая 2019 года / Под общей редакцией А.Н. Новикова. Орёл: Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, 2020. С. 127-135. EDN HEXNTE.
- Сафронов Э. А. Транспортные системы городов и регионов. М.: Издательство «АСВ», 2005 272 с.

Справцева Е. В. Повышение эффективности функционирования Х-образных пересечений двухполосных улиц / Е. В. Справцева, Е. А. Мещерякова // Перспективные направления развития автотранспортного комплекса: Сборник статей XV Международной научно-практической конференции, Пенза, 15–16 ноября 2021 года. Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2021. С. 72-76. EDN KKGSVI.

Цибулка Я. Качество пассажирских перевозок в городах / перевод с чешского. И. В. Шварца. М.: Издательский центр «Транспорт» 1987. 237 с.

Analysis of the Relationship between the Characteristics of the Areas of Influence of Bus Stops and the Decrease in Ridership during COVID-19 Lockdowns / Ya. Montero-Lamas, A. Orro, M. Novales, F. A. Varela-García // Sustainability. 2022. Vol. 14, № 7. P. 4248. DOI 10.3390/su14074248. EDN FQFDOO.

Cipriani E. Transit network design: A procedure and an application to a large urban area / E. Cipriani, S. Gori, M. Petrelli // Transportation Research Part C: Emerging Technologies // [Электронный ресурс] – 2010. URL: <https://www.worldtransitresearch.info/research/3631/> (дата обращения: 21.03.2025).

Goel V. (2022). Efficient Bus Transport System, Case Study of Dehradun / V. Goel, A. Chowdhary // In: V. P. Singh, Z. Li, N. A. Siddiqui, H. Patel (eds). Sustainable Infrastructure Development. Lecture Notes in Civil Engineering. 2022. Vol. 199. Springer, Singapore. DOI 10.1007/978-981-16-6647-6_9.

Level of Satisfaction among University Students Using Various Transport Modes / E. Bouhouras, S. Basbas, G. Mintsis [et al.] // Sustainability. 2022. Vol. 14, № 7. P. 4001. DOI 10.3390/su14074001. EDN MNGGWD.

Ryzhkov A. Y. Urban Public Transport Development in Russia: Trends and Reforms / A. Y. Ryzhkov, P. V. Zyuzin // SSRN Electronic Journal. 2016. DOI 10.2139/ssrn.2881277.

References

Andronov S. A., Ulvacheva O. I. (2022). Synchronization of schedules at the transfer hub in the PTV Visum environment. *System Analysis and Logistics*. 2(32). 73-87. DOI 10.31799/2077-5687-2022-2-73-87. (in Russian)

Berengarten A. S., Astakhov V. S. (2024). Comparison of computer products for modeling SUMO and PTV Vissim traffic. *Bulletin of science*. 5(6(75)): 657-669. (in Russian)

Bouhouras E., Basbas S., Mintsis G. [et al.]. (2022). Level of Satisfaction among University Students Using Various Transport Modes. *Sustainability*. 14(7): 4001. DOI 10.3390/su14074001.

Cipriani E., Gori S., Petrelli M. (2010). Transit network design: A procedure and an application to a large urban area. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. Available at: <https://www.worldtransitresearch.info/research/3631/> (accessed 21 March 2025).

Cybulka Ja. (1987). The quality of passenger transportation in cities / translated from Czech by I. V. Schwartz. Moscow: Publishing Center "Transport", 1987. 237 p. (in Russian)

Dolgov M. V., Olzhaskyzy A. A., Medvedev V. V. (2024). The use of micro and macro modeling for effective traffic management. *Current Problems of Transport and Energy: Innovative Solutions: Proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference, Astana, March 14, 2024*. Astana: L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2024. 117-122. (in Russian)

Gatiyatullin M. H., Khadimullin A. F. (2019). Increasing the capacity on the site of Krasnoarmeyskaya St., Yoshkar-Ola. *Engineering and technology of transport*. 3(14): 5. (in Russian)

Goel V., Chowdhary A. (2022). Efficient Bus Transport System, Case Study of Dehradun. In: Singh, V.P., Li, Z., Siddiqui, N.A., Patel, H. (eds). *Sustainable Infrastructure Development. Lecture Notes in Civil Engineering*. 199. Springer, Singapore. DOI 10.1007/978-981-16-6647-6_9.

- Montero-Lamas Y., Orro A., Novales M., Varela-García F. (2022). Analysis of the relationship between the characteristics of bus stop impact zones and a decrease in passenger traffic during COVID-19 lockdowns. *Sustainable development*. 2022. 14(7): 4248. DOI 10.3390/su14074248.
- Nikitin N. A., Savina Y. E. (2019). Analysis of the effectiveness of various configurations of ring intersections when designing an exit from a new residential area. *Information Technologies and Innovations in Transport: Proceedings of the 5th International Scientific and Practical Conference*, May 22–23, 2019. Oryol: I.S. Turgenev Orel State University, 2019. 22-23. (in Russian)
- Ryzhkov A. Y., Zyuzin P. V. (2016). Development of urban public transport in Russia: trends and reforms. *SSRN Electronic Journal*. DOI 10.2139/ssrn.2881277.
- Safronov E. A. (2005). *Transport Systems of Cities and Regions*. Moscow: ASV Publishing, 2005. 272 p.
- Spravtseva E. V., Meshcheryakova E. A. (2021). Improving the efficiency of X-shaped intersections of two-lane streets. *Promising Directions for the Development of the Transport Complex: Collection of Articles from the XV International Scientific and Practical Conference, Penza, November 15–16, 2021*. Penza: Penza State Agrarian University, 2021. 72-76. (in Russian)
- Volkova E. M., Kolesova V. M. (2021). Building an urban transport system based on intelligent technologies. *The Asia-Pacific region: economy, politics, and law*. 1: 38-52. DOI 10.24866/1813-3274/2021-1/38-52. (in Russian)
- Vuchik V. R. (2011). *Transport in cities convenient for life* / translated from English by A. Kalinin under the scientific editorship of M. Blinkin. Moscow: *Territory of the Future*, 2011. 574 p. (in Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Варкентин Данил Дмитриевич – аспирант, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, ул. Большая Морская, д. 67, Санкт-Петербург, 190000, Россия;
orcid.org/0009-0003-9831-869X; e-mail: danil98wark@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Danil D. Varkentin, Postgraduate Student, Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, 67 Bolshaya Morskaya Street, Saint Petersburg, 190000, Russia;
orcid.org/0009-0003-9831-869X; e-mail: danil98wark@gmail.com

Поступила в редакцию
Принята в печать
Опубликована

12.05.2025
18.06.2026
15.09.2026

Received
Accepted for publication
Published

12 May 2025
18 June 2026
15 September 2026