



ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ АПРОБАЦИИ МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

Д. Д. Варкентин

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Данная работа посвящена разработке и совершенствованию транспортной системы при помощи совместного использования расчётов движения транспортного потока и имитационного моделирования.

В основе методологии лежит комплексный анализ участков с затрудненным движением транспорта. Для поиска оптимальных решений используются методы имитационного моделирования, позволяющие проводить виртуальные эксперименты с различными изменениями в структуре транспортной сети, тем самым обеспечивая апробацию результатов исследований.

Ключевые слова: пассажирский транспорт, график следования, затруднённое движение, транспортный поток, маршруты городского транспорта, объекты городского транспорта, светофорное регулирование, имитационное моделирование.

Для цитирования:

Варкентин, Д. Д. Применения программ имитационного моделирования для апробации методов проектирования транспортной системы / Д. Д. Варкентин // Системный анализ и логистика. – 2025. – № 2(45). – с. 91-98. DOI: 10.31799/2077-5687-2025-2-91-98.

Введение

Современные города сталкиваются с проблемой перегруженности дорожной сети во многих районах. Высокая плотность транспортных потоков приводит к образованию заторов, увеличению времени в пути, повышенному риску дорожно-транспортных происшествий и снижению общего уровня комфорта жизни горожан. Недостаток элементов транспортной инфраструктуры, таких как светофорное регулирование на загруженных перекрестках, усугубляет ситуацию, порождая конфликтные ситуации и аварии. В связи с этим, оптимизация и развитие транспортной инфраструктуры становятся первостепенными задачами для современных городов.

В последние годы широкое распространение получили программы имитационного моделирования транспортных потоков. Они предоставляют инструмент для анализа существующей транспортной ситуации и поиска оптимальных решений. С их помощью возможно моделировать различные сценарии развития транспортной сети, исследовать влияние различных изменений на транспортные потоки и определять наиболее эффективные конфигурации дорожной сети и параметры управления движением. Например, можно определить оптимальные места для установки светофоров, настроить параметры их работы для минимизации заторов улучшая этим пропускную способность перекрестков. Современные программы имитационного моделирования обладают широкими возможностями в плане задания входных параметров, позволяя учитывать различные типы транспортных средств, их скоростные характеристики, параметры местности и многие другие факторы. Более того, программы позволяют визуализировать результаты моделирования, что способствует более глубокому пониманию процессов и принятию более информированных решений.

Программы имитационного моделирования широко применяются в современной науке, основной целью применения данных программ является возможность наглядной апробации результатов применения различных методик в области проектирования транспортной системы. При помощи интерфейсов современных программ можно детально спроектировать возможные изменения в структуре транспортной сети и получить результаты близкие к реальным условиям, так как имитационное моделирование постоянно развивается, улучшая детальность исследования и позволяя учитывать все больше вводных, благодаря чему можно получить более детализированную картину.



Анализ участков транспортной сети с нерегулируемыми пересечениями улиц, на примере участка проспекта Маршала Жукова

В работе рассмотрены возможности улучшения качества дорожного движения на участках дорог с повышенной плотностью движения, путем улучшения характеристик при помощи изменения конфигурации транспортной сети.

Данное исследование посвящено анализу транспортной ситуации на участке проспекта Маршала Жукова, в частности, на пересечении с дорогой на Турухтанные острова. Исследуя данный участок, можно увидеть, что в часы пик он регулярно перегружен (Рис. 1). Также участок до пересечения с проспектом Маршала Казакова характеризуется значительным количеством конфликтных зон. Несколько выездов на проспект регулируются только знаком главная дорога (Рис. 2). Несмотря на это в часы пик из-за плотного движения на участке, проходит плотный поток через места поворотов и поэтому зачастую автомобили на пересечениях пропускают, при этом скорость потока из-за этого значительно падает. Данная ситуация на участке вызывает значительное снижение скорости движения и приводит к опасным ситуациям для участков движения.

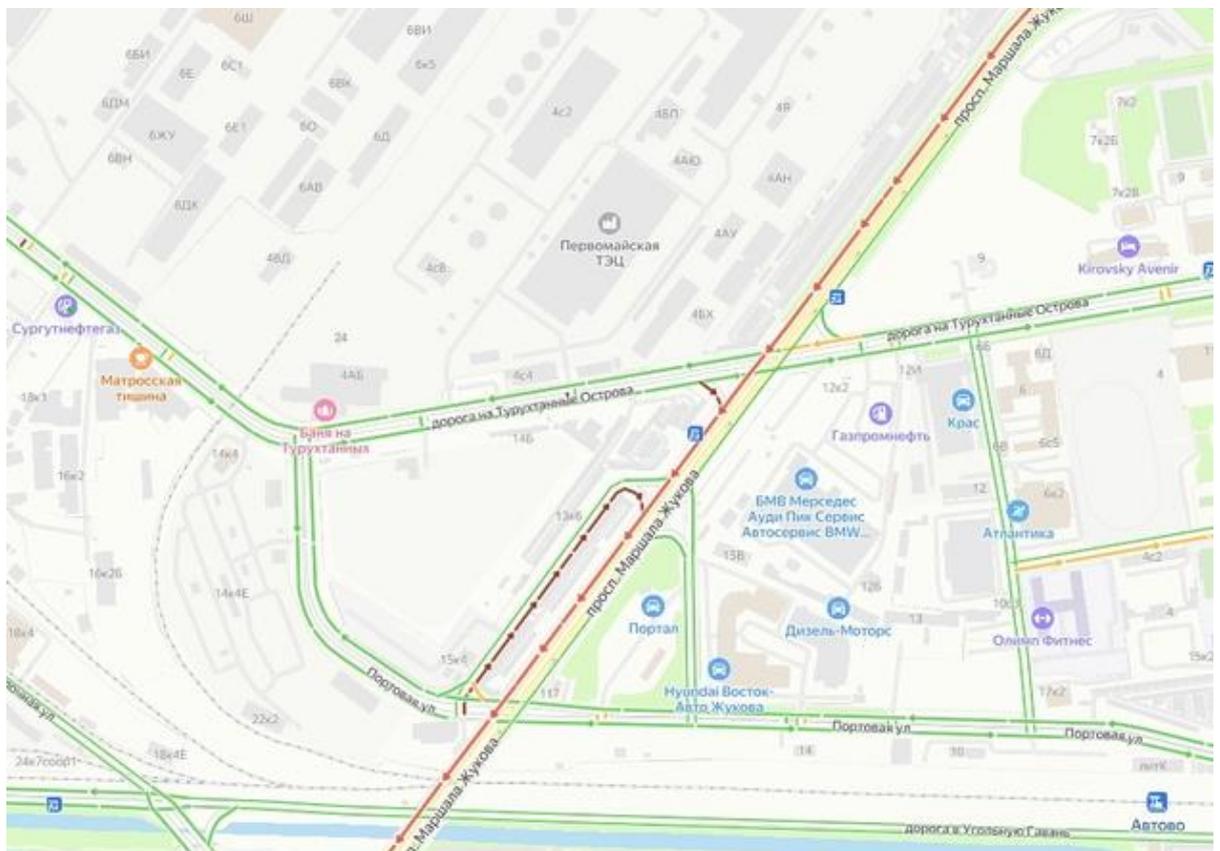


Рис. 1. Загруженность дорог в часы-пик без учёта аварий.



Рис 2. Поворот с дороги на Турухтанные острова

Проблема перегруженности дорожной сети и наличия конфликтных зон является характерной для многих участков дорог вызывая проблемы также в движении наземного общественного транспорта. По причине повышенной плотности движения и снижения скорости на участках транспортной сети компаниям перевозчикам требуется задействовать большее количество транспортных средств для обеспечения расписания, а время в пути существенно увеличивается, при этом необходимость в общественном транспорте возрастает, для обеспечения комфорта пассажиров в часы пик частота движения общественного транспорта должна быть кратно увеличена. Неудобства для водителей общественного транспорта усугубляются нерегулируемыми поворотами, обязывающими их перестраиваться с крайней правой полосы. Не все водители способны эффективно проводить эти маневры в условиях интенсивного движения, из-за чего время преодоления проблемных участков у разных водителей может сильно разниться вплоть до 10-15 минут на преодоление 3-5 километров пути, по этой причине интервалы между маршрутами общественным наземного общественного транспорта могут быть непредсказуемыми. Более того многие водители, которые стараются сэкономить время маневрируя в условиях повышенной плотности дорожного движения, вынуждены подвергать риску не только себя, но и пассажиров.

Сейчас на многих маршрутах городского пассажирского транспорта наблюдается несоблюдение расписания. Анализ работы маршрутов городского пассажирского транспорта выявил проблему несоблюдения расписания на многих линиях. В качестве иллюстрации можно рассмотреть маршрут №147, проходящий через участки со значительным количеством конфликтных зон. На этом маршруте наблюдается не только значительное увеличение времени в пути в часы пик, но и существенная вариативность времени проезда у разных водителей. Это обусловлено различными стилями вождения в условиях интенсивного движения. Интервалы движения автобусов на отдельных участках могут изменяться в широком диапазоне – от четырёх минут до десяти и более. Аналогичная ситуация характерна и для троллейбусных маршрутов №48 и №41 на рассматриваемом участке.

Наблюдения за движением автобусов маршрута №147 на одной из остановок подтвердили многочисленные случаи несоблюдения расписания. Результаты наблюдений демонстрируют значительные расхождения во времени прибытия автобусов на остановку. Это не только создает неудобства для пассажиров, но и приводит к непредсказуемости работы транспортной системы в целом, усугубляя проблемы с перегруженностью дорожной сети и снижая общий уровень качества обслуживания.

Основным показателем контроля за расписанием может стать коэффициент вариации,



который показывает степень расхождения в графике следования, в идеале он должен быть минимален, показатель выше 35% процентов свидетельствует о значительном отклонении в графике следования. коэффициент вариации рассчитывается по формуле (1):

$$v = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{cp})^2}{n}}}{X_{cp}} * 100 \quad (1)$$

Где: X_{cp} — Среднее значение интервалов;

X — Интервал следования между автобусами;

n — Количество прошедших автобусов в период наблюдения;

Далее представлен расчет коэффициента вариации 147 автобуса, который по расписанию должен следовать каждые 13 минут. Результаты основных показателей движения представлены в таблице 1.

Таблица 1 — Результаты расчёта показателей отклонения от графика следования

x	6	16	12	14	35	15	10	7	10	7	10	22	7	2	14	10	1	39
x_{cp}	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
$(x-x_{cp})^2$	64	4	4	0	441	1	16	49	16	49	16	144	169	144	0	16	169	625

График следования варьировался от 1 до 40 минут, по итогу коэффициент вариации составил 80%. Анализ показал значительные отклонения от графика следования. Одним из способов регулирования дорожного движения, является снижение конфликтных зон, путем внесения светофорного регулирования на участках дорог.

В работе Плотникова А.М. и Баландина Д. О. По формуле (2) Рассчитывалась оценка уровня безопасности для регулируемого перекрестка РПmax с учётом конфликтных зон разного типа [1].

$$RП \max = 0,43 * n + 0,25 * c + 0,1 * o + 0,75 \quad (2)$$

где n (пересечение), o (слияние) и c (отклонение) — число конфликтных точек в системы организации движения на конкретном перекрестке по видам пересечений.

Из формулы следует, что чем больше конфликтных зон, тем опаснее является перекрёсток, более того такие зоны негативно влияют на движения транспортных потоков, так как в условиях плотного движения, водители транспортных средств берут на себя решения о преодолении конфликтной точки.

Одним из путей улучшения работы общественного транспорта является минимизация количества конфликтных зон на дорогах. Наличие таких зон негативно влияет не только на общую пропускную способность дорожной сети, но и, в частности, на эффективность работы наземного общественного транспорта, увеличивая время в пути и снижая предсказуемость расписания. Поэтому, оптимизация перекрестков и улучшение организации дорожного движения являются необходимыми мерами для повышения качества транспортного обслуживания населения.

Одним из способов анализа возможности оптимизации дорожной сети, является моделирование транспортных процессов. В настоящее время существует значительное количество технических средств, предназначенных для построения моделей транспортного потока. Большинство этих программ ориентированы на создание моделей на микроуровне.



Одной из наиболее универсальных программ на данный момент является PTV Vissim, пакет является профессионально заточенным под решение задач транспортной системы, включает в себя множество программ, которые ориентированы на разные уровни транспортного моделирования.

В статье "Использование микро и макро моделирования для эффективной организации дорожного движения" отмечается универсальность и широкий охват возможностей Vissim [2]. Астахов В.С. и Беренгартен А.С. также подчеркивают интуитивно понятный интерфейс и профессиональную направленность программы [3].

Результаты имитационного моделирования наиболее загруженного участка проспекта Маршала Жукова в программе Vissim.

В рамках имитационного моделирования в программе Vissim был проведен эксперимент с использованием встроенных детекторов. Для имитации уменьшения скорости движения на рассматриваемом участке были использованы виртуальные зоны снижения скорости перед поворотами и на участке в целом. В модели были учтены равнозначные конфликты, так как в реальных условиях при уплотнении движения машины не всегда могут выехать с поворотов. Были построены две модели участка: базовая, отражающая реальную ситуацию, и модель с добавлением светофорного регулирования на поворотах (Рис. 3).

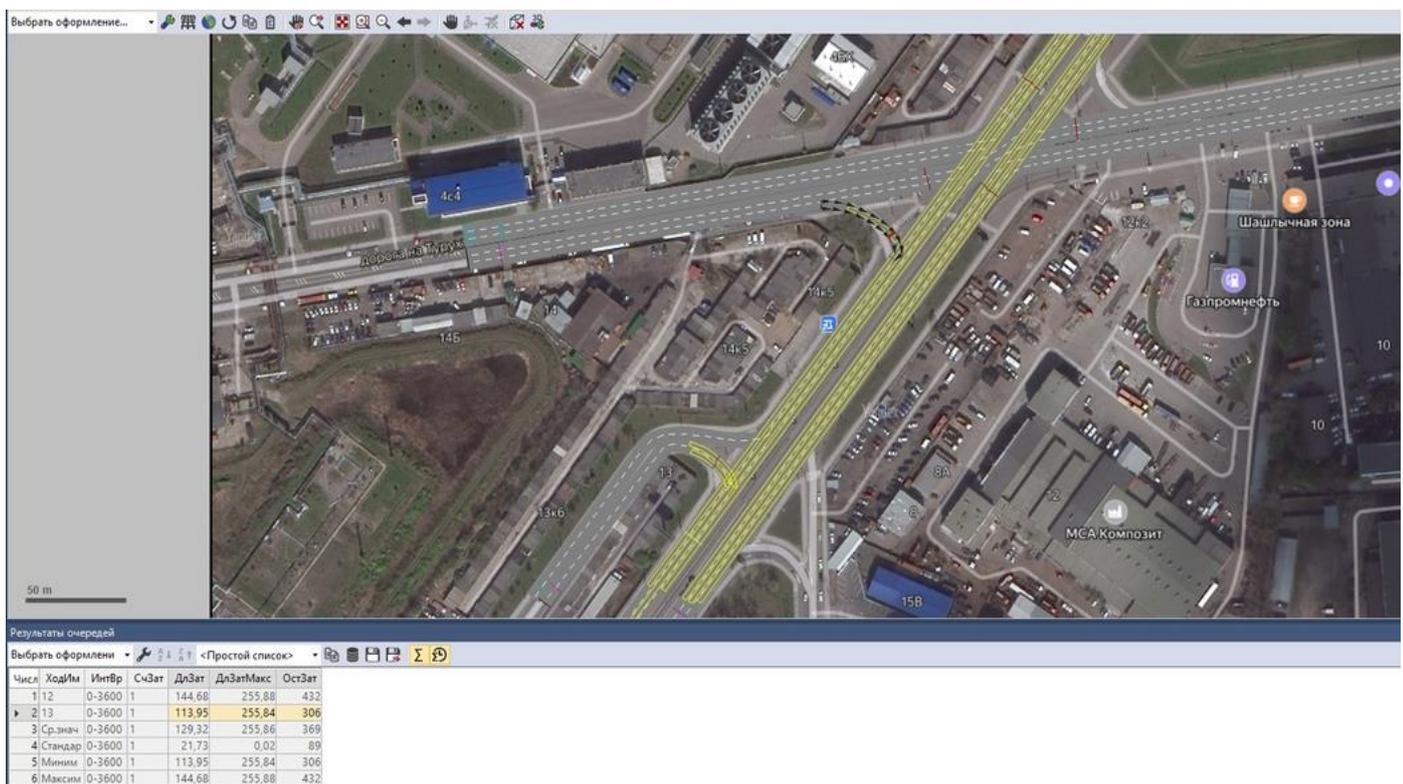


Рис. 3. Моделирования в программе Vissim

Результаты моделирования продемонстрировали существенное улучшение транспортного потока после введения светофорного регулирования. Показатели, такие как среднее время в пути, средняя длина очереди и количество остановок в пути, значительно уменьшились, а пропускная способность участка (количество проехавших машин) возросла (Рисунок 4). Внедрение светофоров положительно скажется не только на скорости движения, но и на безопасности дорожного движения.

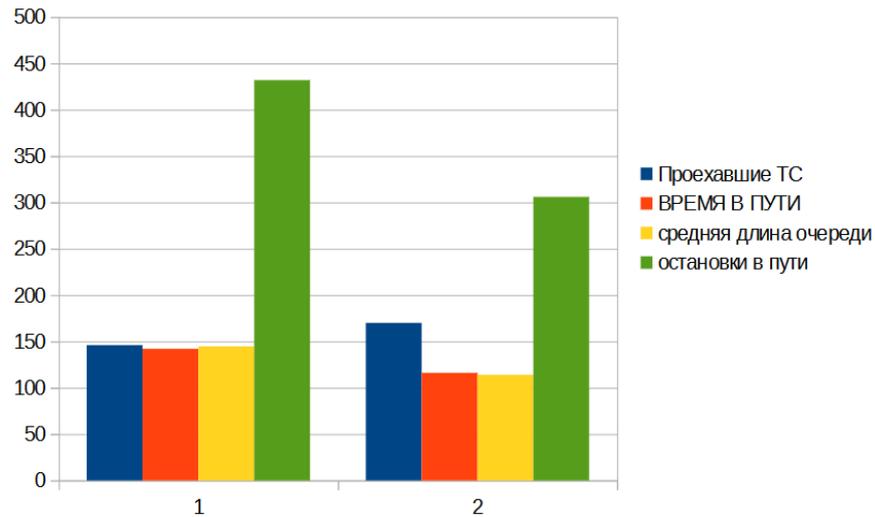


Рис 4. Результаты экспериментов в Vissim

Аналогично в моей прошлой работе был промоделирован участок Таллинского шоссе [4]. Из-за отсутствия светофорного регулирования выезда с территории торгового центра в часы пик наблюдается хаотичное движение, многие автомобили стремятся обойти заторы через парковку торгового центра, тем самым ещё больше усугубляя транспортную ситуацию, провоцируя конфликты, которые могут привести к авариям и затрудняя движения потоку в том числе и пассажирскому транспорту. Кроме этого, предложено создать необходимую инфраструктуру для обслуживания населения, пешеходный переход и остановки общественного транспорта в данном районе. В работе также было применено координированное регулирования светофоров. Светофор на выезде из торгового центра работал из расчета временного отклонения скорости равного времени движения машин с существующим светофором на Колобановской улице, что также положительно сказалось на транспортной ситуации.

Возможности и опыт применения программ транспортного моделирования

Программное обеспечение для имитационного моделирования Vissim широко применяется в транспортном планировании и исследованиях, с его помощью в последнее время удавалось. Его популярность обусловлена широким функционалом и возможностью решения различных задач, что подтверждается многочисленными исследованиями.

Возможности Vissim позволяют моделировать и оптимизировать различные аспекты транспортной системы. Например, Никитина Н.А. и Савина Ю. Э., авторы продемонстрировали улучшение показателей транспортного потока при помощи изменения X-образного перекрестка на кольцевой [5]. Используя Vissim для моделирования. Гатиятулин М.Х. и Хадимулин А.Ф. подтвердили эффективность координированного светофорного регулирования с помощью моделирования в Vissim [6].

Кроме Vissim, разработчик предлагает другие программы для имитационного моделирования транспортных потоков. в работе Ведяшкина И. В. при использовании программного обеспечения Vision для исследования транспортных потоков удалось подтвердить преимущества предлагаемой схемы организации дорожного движения на перекрестке путем введения светофорного регулирования [7]. Андронов С. А. и Ульвачева О. В. с помощью Visum оптимизировали расписание автобусных маршрутов для обеспечения минимального времени ожидания при пересадке на железнодорожный транспорт [8]. Эти примеры демонстрируют широкие возможности программного обеспечения для решения различных задач транспортного планирования, от оптимизации отдельных перекрестков до разработки оптимальных расписаний для обеспечения удобных пересадок между различными видами транспорта. Эти примеры подтверждают актуальность использования пакета



программ PTV.

Анализируя данные, полученные в результате моделирования, Vissim позволяет проводить множество различных исследований для рационализации транспортной ситуации, таких как:

- Определение пропускной способности дорог и перекрестков;
- Определение рациональных параметров светофоров;
- Определение пробок и узких мест на дорогах;
- Оценка эффективности различных изменений в расположения дорожной инфраструктуры, в том числе и остановочных пунктов.

Заключение

В заключение следует отметить, что современные программы имитационного моделирования транспортных потоков предоставляют мощный инструмент для проверки гипотез и подтверждения теоретических предположений в области транспортного планирования. Высокая степень детализации и возможность учета большого количества входных параметров, включая географические особенности, характеристики транспортных средств, поведение водителей и многие другие факторы, позволяют получать результаты моделирования, близкие к реальным условиям. Дальнейшее совершенствование методов имитационного моделирования и увеличение объема учитываемых данных будет способствовать повышению точности прогнозирования и оптимизации транспортных систем.

По всему миру в том числе и в России разрабатывается всё больше программ для имитационного моделирования транспортных потоков. Разработка таких программ, RITM являющаяся Российским аналогом Visum, позволяет решать сложные задачи транспортного планирования и проектирования, учитывая индивидуальные особенности конкретных городов и регионов [9]. Преимуществом RITM является возможность проводить исследования как на макроуровне, так и на микроуровне в одном модуле. Использование программ для имитационного моделирования транспортных потоков способствует принятию более обоснованных и эффективных решений, минимизируя риски и максимизируя эффект от инвестиций в развитие транспортной инфраструктуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Плотников А. М.* Расчетная оценка безопасности движения на одноуровневых пересечениях дорог / А. М. Плотников; Д. О. Баландин // Транспорт российской федерации. – 2019. – № 2(81). – С. 36-39.
2. *Долгов М. В., Олжасқызы А. А., Медведев В. В.* Использование микро и макро моделирования для эффективной организации дорожного движения // Актуальные проблемы транспорта и энергетики: пути их инновационного решения: Материалы XII междунар. научно-практической конф. – Астана, 2024. – С. 117-122.
3. *Беренгартен А. С.* Сравнение компьютерных продуктов для моделирования дорожного трафика SUMO и PTV Vissim. / Беренгартен А. С., Астахов В. С. // Вестник науки. – 2024. – № 6 (75). – С. 657-669.
4. *Андронов С. А.* Рационализация расположения остановочных пунктов при помощи задач размещения логистической инфраструктуры / Андронов С. А., Варкентин Д. Д. // Системный анализ и логистика. – 2023. – №2(36). – с. 20 – 32.
5. *Никитин Н. А., Савина Ю. Э.* Анализ эффективности различных конфигураций кольцевых пересечений при проектировании выезда из нового жилого района // Информационные технологии и инновации на транспорте: Материалы 5-ой междунар. научно-практической конф. – Орел, 2019. – С. 127-135.
6. *Гатиятуллин М. Х.* Увеличение пропускной способности на участке ул. Красноармейская г. Йошкар-Ола / Гатиятуллин М.Х. Хадимуллин А.Ф. // Техника и



- технология транспорта. – 2019. – № 3 (14). – 5 с.
7. *Ведяшкин В. И.* Моделирование транспортных и пешеходных потоков при помощи программного комплекса «PTV VISSIM» в г. Барнауле / В. И. Ведяшкин // Педагогическое образование на Алтае. – 2014. – № 2. – С. 219-220.
 8. *Андронов С. А.* Синхронизация расписаний в пересадочном узле в среде PTV Visum / Андронов С. А., Ульвачева О. В // Системный анализ и логистика. – 2022. – № 2 (32). – С. 73–87.
 9. RITM³. Цифровая платформа для управления транспортной системой [Электронный источник]. – URL: <https://ritm3.ru/?ysclid=ma02yh2i87388590548> (дата обращения 26.04.2025).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Варкентин Данил Дмитриевич

Аспирант кафедры системного анализа и логистики
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д.67, лит. А
E-mail: danil98wark@gmail.com

Дата поступления: 15.04.2025

Дата принятия: 01.07.2025