

УДК 656.021.8

Дударев Кирилл Сергеевич

Студент 1-го курса кафедры географии, Института Медицины и экспериментальной биологии ФГБОУ ВО «Псковский государственный университет» (180000, Россия, Псковская область, г. Псков, пл. Ленина, д.2),

Теренина Наталья Константиновна

доцент кафедры географии Института Медицины и экспериментальной биологии ФГБОУ ВО «Псковский государственный университет» (180000, Россия, Псковская область, г. Псков, пл. Ленина, д.2)

ЭВОЛЮЦИЯ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ АВТОБУСНОГО ДВИЖЕНИЯ В ГОРОДАХ: ОТ КЛАССИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ К ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМ СИСТЕМАМ

***Аннотация:** В данной статье представлен всесторонний обзор методов оптимизации движения городского пассажирского транспорта, рассматриваемых в их историческом развитии: от классических подходов к планированию и моделированию до новейших интеллектуальных систем, основанных на технологиях искусственного интеллекта и больших данных. Проанализированы ключевые научные работы и практические кейсы внедрения передовых решений. Отдельное внимание уделено возможности и перспективам применения рассмотренных методов для оптимизации автобусного движения в городе Пскове, что определяет практическую значимость работы.*

***Ключевые слова:** оптимизация автобусного движения, ГИС в транспорте, пассажиропоток, хронометраж, GPS-трекинг, цифровой двойник, SUMO, PTV Visum, картография.*

Dudarev Kirill Sergeevich

1st year student of the Department of Geography, Institute of Medicine and Experimental Biology, Pskov State University (180000, Russia, Pskov region, Pskov, Lenin Square, 2), tel. +7 8112 20-16-99, dkira2310@gmail.com

Natalia Terenina

Associate Professor, Department of Geography, Institute of Medicine and Experimental Biology, Pskov State University (180000, Russia, Pskov region, Pskov, Lenin Square, 2), tel. +7 8112 20-16-99

EVOLUTION OF METHODS FOR OPTIMIZING BUS TRAFFIC IN CITIES: FROM CLASSICAL MODELS TO INTELLIGENT SYSTEMS

***Abstract:** This article presents a comprehensive review of urban passenger transport optimization methods, examining their historical development: from classical approaches to planning and modeling to the latest intelligent systems based on artificial intelligence and big data technologies. Key scientific papers and practical case studies of advanced solutions are analyzed. Particular attention is paid to the feasibility and potential of applying the discussed methods to bus traffic optimization in Pskov, which determines the practical significance of the work.*

***Keywords:** bus traffic optimization, GIS in transport, passenger flow, timing, GPS tracking, digital twin, SUMO, PTV Visum, cartography.*

Введение

Транспортная система современного города представляет собой сложный социально-технический организм, эффективность которого напрямую определяет качество жизни населения, устойчивость экономического развития и экологическую обстановку. В условиях непрекращающегося роста автомобилизации и трансформации городской застройки классические методы организации пассажирских перевозок, основанные на статичных нормативах и ручном трудоемком планировании, достигают предела своих возможностей. Возникает объективная необходимость перехода к адаптивным, управляемым

данными интеллектуальным системам, способным гибко реагировать на динамику пассажиропотоков.

Эволюция подходов к оптимизации автобусного движения прошла путь от графических методов и хронометража до создания цифровых двойников и применения алгоритмов машинного обучения. Однако, несмотря на значительный технологический рывок, ключевым базисом для работы любой интеллектуальной транспортной системы (ИТС) остаются качественные пространственные данные. Именно геоинформационные системы (ГИС) служат платформой, связывающей воедино данные GPS-трекинга, картографию маршрутной сети, плотность расселения и локации точек притяжения граждан. Целью данной статьи является систематизация существующих методов оптимизации автобусного движения в их историческом развитии — от классических графоаналитических моделей до новейших сервисов на базе искусственного интеллекта. Особый акцент сделан на прикладном значении этих методов для городов с ограниченными бюджетными возможностями. На примере города Пскова рассматривается практическая значимость интеграции интеллектуальных алгоритмов с геоданными, что позволяет выявить резервы повышения эффективности маршрутной сети без масштабных капитальных вложений.

1. Фундаментальные основы и классические подходы к оптимизации

1.1. Понятие и критерии эффективности

Оптимизация движения автобусов представляет собой комплекс организационных, технических и экономических мер, направленных на достижение наилучших показателей работы пассажирского транспорта при существующих ресурсных и инфраструктурных ограничениях. В классической теории городского пассажирского транспорта под оптимизацией понимается процесс поиска такого состояния маршрутной сети, расписания и режимов движения, при котором достигается баланс между качеством обслуживания пассажиров и затратами перевозчика.

Эффективность функционирования автобусной системы является многомерным понятием и не может быть сведена к единственному показателю. В зависимости от субъекта оценки — пассажира, транспортного предприятия или городской администрации — приоритетность критериев меняется, что неизбежно порождает конфликт интересов. С точки зрения пассажира основными критериями выступают минимизация общих затрат времени на поездку, высокая регулярность движения, безопасность и комфорт. Для перевозчика на первый план выходят показатели экономической эффективности: себестоимость перевозок, производительность подвижного состава, рентабельность. Город как управляющая система заинтересован в минимизации бюджетных субсидий, снижении экологической нагрузки и повышении общей транспортной доступности территории.

Традиционно ключевые критерии эффективности объединяют в три группы: **критерии качества транспортного обслуживания населения, технико-экономические критерии и критерии безопасности.**

Критерии качества обслуживания ориентированы на пассажира и включают:

- Общие затраты времени на поездку — сумма времени подхода к остановке, ожидания транспорта, времени в пути и времени пересадки. В классических работах по организации перевозок этот критерий считается интегральным и наиболее полно отражает привлекательность общественного транспорта. Его минимизация достигается за счет рационального размещения остановочных пунктов, оптимальных интервалов движения и скоростного режима.
- Регулярность движения — показатель, характеризующий соблюдение запланированного расписания или интервалов. Отклонения от расписания (особенно опоздания) воспринимаются пассажирами крайне негативно и напрямую снижают доверие к системе. Количественно регулярность оценивается долей рейсов, выполненных в пределах допустимых

отклонений (например, ± 2 минуты для городских маршрутов), и коэффициентом вариации интервалов.

- Доступность транспорта — пространственный и временной аспект: плотность маршрутной сети, максимальная дальность пешего подхода к остановке, наличие и удобство пересадок, а также адаптированность для маломобильных групп населения. Для картографической оценки этого критерия широко применяются методы построения изохрон и зон пешеходной доступности в ГИС.

Технико-экономические критерии отражают интересы перевозчика и включают:

- Эксплуатационные затраты — совокупные расходы на выполнение перевозок, включая топливо или электроэнергию, смазочные материалы, износ шин, техническое обслуживание и ремонт, амортизацию подвижного состава, заработную плату водителей и кондукторов. Минимизация затрат на единицу транспортной работы (пассажира-километр) является одной из центральных задач транспортного планирования.
- Производительность подвижного состава — количество перевезенных пассажиров или выполненный пассажирооборот, приходящийся на одно транспортное средство за смену. Повышение производительности достигается выбором оптимального класса вместимости автобуса для каждого маршрута, сокращением непроизводительных пробегов и простоев.
- Коэффициенты использования вместимости и пробега — статические и динамические показатели, характеризующие степень наполнения салона и полезного использования транспортного средства. Перегрузка на одних участках маршрута при недогрузке на других свидетельствует о несбалансированности расписания или трассировки, что указывает на резервы оптимизации.

Критерии безопасности включают снижение количества дорожно-транспортных происшествий с участием общественного транспорта и

минимизацию конфликтных ситуаций на остановочных пунктах. Безопасность движения рассматривается как строгое ограничение: любое оптимизационное решение не должно снижать ее уровень.

Перечисленные критерии часто вступают в противоречие друг с другом. Например, повышение регулярности путем сокращения времени оборота может потребовать увеличения количества машин на маршруте, что ведет к росту эксплуатационных затрат. Снижение себестоимости перевозок за счет использования автобусов особо большого класса на всех маршрутах неизбежно увеличит интервалы движения и ухудшит условия поездки для пассажиров. Поэтому в теории транспортной оптимизации задача формулируется как многокритериальная, а искомое решение должно принадлежать множеству Парето-оптимальных вариантов, при которых улучшение любого из показателей неизбежно влечет ухудшение хотя бы одного другого. Выбор конечного компромиссного варианта остается за лицом, принимающим решение, и зависит от принятой транспортной политики города.

Непосредственным измерителем эффективности в классических методиках служит система **технико-эксплуатационных показателей (ТЭП)**, получаемых в результате хронометражных наблюдений и нормирования: эксплуатационная скорость, время оборота, коэффициент выпуска машин на линию, среднесуточный пробег и другие. Именно эти показатели закладываются в основу математических моделей расписаний, рассматриваемых в следующем разделе, и служат исходными данными для всех последующих этапов оптимизации — от графического планирования до современных интеллектуальных алгоритмов.

1.2. Традиционные методы организации и планирования

Задолго до появления цифровых инструментов транспортного моделирования и искусственного интеллекта практика городских перевозок опиралась на систему классических методов организации и планирования. Их объединяет эмпирический фундамент — все расчеты велись на основе натурных обследований, хронометражных наблюдений и нормативных таблиц, а обработка

данных и построение расписаний выполнялись преимущественно вручную. Несмотря на кажущуюся архаичность, именно эти методы сформировали понятийный аппарат и теоретический базис, на котором строятся современные системы.

1.2.1. Нормирование скоростей и времени рейса на основе хронометражных наблюдений

Отправной точкой любого планирования является нормирование — установление научно обоснованных норм времени на выполнение рейса и его составных частей. Основным инструментом для этого выступает хронометраж, то есть систематическое измерение продолжительности движения автобуса по перегонам между остановками, длительности стоянок на промежуточных и конечных пунктах, а также времени задержек, вызванных светофорным регулированием и дорожной обстановкой.

Хронометражные наблюдения проводятся в различные дни недели и часы суток для получения статистически устойчивых значений. По их результатам рассчитывают:

Время рейса — сумма времени движения между всеми остановками маршрута и времени стоянок на промежуточных остановках. Для учета непредвиденных задержек вводится нормативный запас в размере 5–8 % от чистого времени движения.

Время оборота — сумма времени рейса в прямом и обратном направлении плюс суммарная продолжительность отстоя на конечных пунктах, необходимого для отдыха водителей, межрейсового технического осмотра и регулирования расписания.

Эксплуатационная скорость — отношение пройденного расстояния к полному времени рейса. Именно она закладывается в основу расписания, в отличие от технической скорости, которая учитывает только фазу движения без остановок.

Процесс нормирования был (и во многом остается) чрезвычайно трудоемким, особенно в больших городах с разветвленной сетью. Чтобы снизить

затраты труда, применялись методы выборочного обследования на наиболее характерных маршрутах и периодах, а результаты экстраполировались на всю сеть с помощью эмпирических коэффициентов. Тем не менее в условиях быстро меняющейся дорожной обстановки нормы, установленные однажды, быстро устаревали, что становилось серьезным ограничением в последующем при переходе к динамическому управлению.

1.2.2. Графический метод составления расписания

Для согласования работы всех автобусов на маршруте и обеспечения равномерных интервалов движения долгое время использовался графический метод. Его сущность заключается в построении на миллиметровой бумаге плана-графика, где по горизонтальной оси откладывается время суток, а по вертикальной — условное расстояние от начального до конечного пункта. Движение каждого автобуса изображается наклонной линией, тангенс угла наклона которой соответствует эксплуатационной скорости.

Преимущества метода:

Наглядность: диспетчер мог визуально оценить, как машины расходятся по остановкам, где возникают сгущения или разрывы интервалов.

Простота коррекции: при изменении норм времени достаточно было перечертить отдельный участок графика.

Удобство синхронизации: на одном листе легко увязывались выпуск и возврат автобусов с графиками обеденных перерывов и пересмен водителей.

Однако по мере роста числа маршрутов и подвижного состава графический метод обнаружил свою главную слабость — чрезвычайную трудоемкость. При корректировке расписания даже на одном маршруте требовалось заново перерисовывать весь сводный график, что для среднего города с 20–30 маршрутами становилось нереализуемым без серьезных временных затрат. По этой причине графический метод эволюционировал в табличные аналоги, а позже — в компьютерные программы построения расписаний, унаследовавшие его логику, но избавленные от ручного черчения.

1.2.3. Опережающее дискретное планирование

Опережающее дискретное планирование представляет собой организационный подход, при котором расписания и графики работы водителей формируются заранее, на определенный плановый период (неделю, декаду, месяц), на основе прогнозных данных о пассажиропотоках, а не фактических показателей прошедших суток. Термин «дискретное» подчеркивает, что план пересчитывается не непрерывно, а с заданной периодичностью, а «опережающее» — то, что решение принимается до наступления планового периода.

Технологически метод базируется на накопленной статистике обследований пассажиропотоков, выявляющей типовые профили суточной, недельной и сезонной неравномерности. По этим профилям прогнозируются ожидаемые объемы перевозок на предстоящий период, исходя из которых устанавливаются ключевые технико-эксплуатационные показатели (ТЭП): необходимый интервал движения по часам суток, количество подвижного состава на маршруте, продолжительность смен, пробег и т.д.

Достоинством метода является возможность заблаговременно увязать все ресурсы — транспортные средства, водителей, резервные автобусы — в единый непротиворечивый документ. Недостаток очевиден: план составляется на основе усредненных, «типовых» условий и потому неспособен адекватно реагировать на разовые события вроде погодных аномалий, дорожных перекрытий или внезапного роста пассажиропотока из-за массовых мероприятий. Преодоление этой статичности стало одним из стимулов к разработке гибких аperiodических моделей и, в конечном счете, систем адаптивного управления.

1.2.4. Расчет потребного количества подвижного состава

Расчет потребного количества автобусов является финальным и наиболее ответственным этапом классического планирования. Его цель — определить минимально необходимое число транспортных средств, которое обеспечивает освоение заданного пассажиропотока с соблюдением нормативных показателей качества (прежде всего, интервала движения и коэффициента наполнения салона).

Исходной величиной служит максимальный пассажиропоток в час пик на наиболее загруженном перегоне маршрута, определяемый натурными обследованиями. Потребное количество автобусов рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{Q_{max} \times t_{об}}{q \times \gamma}$$

где Q_{max} — максимальный пассажиропоток в одном направлении (пасс./ч), $t_{об}$ — время оборота (ч), q — номинальная вместимость автобуса, γ — допустимый коэффициент использования вместимости (нормативный максимум наполнения, обычно 0.85–0.95).

При наличии автобусов разного класса вместимости решается оптимизационная задача: для каждого маршрута подбирается такой тип подвижного состава, который наилучшим образом соответствует структуре пассажиропотока по часам суток. Как правило, на маршрутах с резко выраженным пиковым характером спроса применяются автобусы большой вместимости в часы пик и менее вместительные в межпиковые периоды. Однако такой дифференцированный подход требует более сложного планирования выпуска машин, что в классической ручной технологии было выполнимо лишь для небольших сетей.

Рассмотренные методы — нормирование, графическое построение, опережающее дискретное планирование и расчет потребного парка — в совокупности формировали законченный цикл организации перевозок, просуществовавший в отечественной практике до начала 2000-х годов. Их главными ограничениями, определившими переход к автоматизированным и интеллектуальным системам, стали высокая трудоемкость, опора на устаревающие нормативы и неспособность оперативно реагировать на изменяющуюся дорожную и пассажирскую обстановку.

1.3. Математические модели расписаний

Для автоматизации процесса составления расписаний используются три основные математические модели:

Модель периодического расписания: движение автобусов на маршруте подчиняется строгому циклу (интервалу). Это удобно для пассажиров, но не всегда эффективно при резких колебаниях пассажиропотока.

Модель аperiodического расписания: интервалы движения меняются в течение дня в зависимости от спроса. Это более гибкий и экономичный подход, широко распространенный на постсоветском пространстве.

Гибридная модель: комбинирует элементы периодического и аperiodического подходов для достижения баланса между удобством пассажиров и эффективностью перевозок.

1.4. Графоаналитические и стохастические методы

Для оптимизации маршрутной сети и расчета необходимого количества транспорта широко применяются графоаналитические методы. Также важную роль играют вероятностные (стохастические) модели, которые позволяют оценить характеристики пассажиропотоков в условиях неопределенности, например, используя математический аппарат теории массового обслуживания. Такие модели позволяют найти оптимальное расписание, при котором минимизируются потери времени и ресурсов.

2. Современные технологии и инновационные методы оптимизации

Современный этап развития транспортных систем характеризуется переходом к парадигме «умного города», где ключевую роль играют данные и алгоритмы их обработки.

2.1. Интеллектуальные Транспортные Системы (ИТС)

ИТС — это комплексная интеграция современных информационных, коммуникационных и телематических технологий с транспортной инфраструктурой и транспортными средствами. Как показывают исследования, внедрение ИТС позволяет сократить время поездок на 12-18% и снизить количество ДТП до 15%. ИТС являются фундаментом для реализации всех нижеперечисленных технологий.

2.2. Применение Искусственного Интеллекта (ИИ) и машинного обучения

ИИ становится центральным элементом современных систем оптимизации, позволяя решать задачи, недоступные классическим методам.

2.2.1. Системы автоматического планирования ресурсов.

Ярким примером является российская система «Оптуран». Она использует алгоритмы ИИ и методы дискретной оптимизации для автоматического назначения водителей и автобусов на маршруты. Система учитывает более 30 факторов: пассажиропоток, режим труда и отдыха водителей, технические характеристики транспорта. Благодаря ей время планирования работы тысяч водителей и транспортных средств сократилось до 5 минут, а нагрузка на диспетчеров уменьшилась вдвое. Эта система, успешно внедренная в Москве, уже начала тиражироваться в других городах России, например, в Калининграде.

2.2.2. ИИ-сервисы для анализа маршрутных сетей.

Другой важный класс решений — это инструменты для быстрой и недорогой оптимизации маршрутной сети. Примером является разработанный в ИТМО сервис ConnectPT. Он способен за несколько часов проанализировать существующие маршруты автобусов, трамваев и троллейбусов и выдать рекомендации по их улучшению: сократить количество пересадок, убрать дублирующиеся линии, уменьшить время в пути. Уникальность сервиса в том, что он использует эволюционные алгоритмы и графовые нейросети, работая на минимальном объеме открытых данных (например, из OpenStreetMap), что делает его доступным для небольших городов.

2.3. Мультимаршрутное планирование и графовые модели

Этот подход рассматривает городскую транспортную сеть не как набор изолированных маршрутов, а как единую систему. Работа общественного транспорта моделируется в виде ориентированного взвешенного графа, где вершинами являются остановки, а ребрами — связи между ними. Такой метод позволяет находить эффективные «цепочки» выполнения рейсов, оптимизируя использование подвижного состава. Моделирование на примере городской сети из 10 маршрутов показало рост эффективности использования транспорта на 39.6%.

2.4. Технология Цифровых Двойников (Digital Twins)

Цифровой двойник транспортной системы — это ее точная виртуальная копия, которая в режиме реального времени собирает и обрабатывает данные с множества датчиков, камер, GPS-трекеров, метеостанций. Эта технология позволяет:

Прогнозировать развитие транспортной ситуации и моделировать последствия различных сценариев (например, ввод нового маршрута или перекрытие улицы).

Определять оптимальную структуру маршрутной сети с использованием алгоритмов машинного обучения и искусственных нейронных сетей.

В России примером комплексного использования цифрового двойника для транспортного планирования является Москва, также подобные проекты реализуются в Ульяновске и Иннополисе.

2.5. Адаптивное управление движением и «умные» светофоры

Для повышения эффективности движения автобусов важна их интеграция с системами управления дорожным движением. Разрабатываются многоагентные системы, где «умные» светофоры, снабженные датчиками, обмениваются информацией друг с другом и самостоятельно адаптируют режим работы под текущий трафик. В отличие от старых систем с фиксированным расписанием, такие системы учитывают не только интенсивность потока, но и время ожидания машин, что предотвращает образование пробок.

3. Прикладные аспекты: анализ и перспективы оптимизации автобусной сети г. Пскова

3.1. Текущее состояние транспортной системы

Городская автобусная сеть Пскова обслуживается преимущественно предприятием ГППО «Псковпассажиравтотранс». Согласно открытым данным, предприятие обслуживает 26 городских маршрутов. Для пассажиров доступны

современные цифровые сервисы: отслеживание движения автобусов в реальном времени через приложение «Псков транспорт» и интерактивные карты Яндекса. Это создает базовую цифровую инфраструктуру для сбора данных, необходимых для более глубокой оптимизации.

3.2. Возможности применения передовых методов

Учитывая размер и бюджетные возможности Пскова, наиболее реалистичными и эффективными для города представляются следующие шаги:

Анализ дублируемости и эффективности маршрутов: Применение доступного инструмента, аналогичного ConnectPT, позволило бы без значительных затрат на дорогостоящее моделирование выявить неэффективные и дублирующие друг друга маршруты. Это могло бы стать основой для первой итерации по оптимизации маршрутной сети.

Внедрение элементов мультимаршрутного планирования: Для повышения эффективности использования подвижного состава можно рассмотреть возможность создания, когда одна единица техники в течение дня может обслуживать несколько маршрутов с разной пиковой нагрузкой. Это требует более сложного планирования, но дает значительную экономию ресурсов.

Разработка прогностической модели пассажиропотоков: Используя данные из приложения «Псков транспорт» и валидаторов, можно создать стохастическую модель пассажиропотоков. Это позволит перейти от статичных расписаний к динамическим, которые лучше соответствуют реальному спросу в разное время суток.

Адаптация системы «Оптуран»: Хотя система «Оптуран» в полном объеме может быть избыточна, использование её отдельных алгоритмов для автоматизации назначения водителей и автобусов на маршруты могло бы существенно упростить работу диспетчерской службы «Псковпассажиравтотранса».

3.3. Роль картографических данных и ГИС

Для разработки транспортной сети ключевым является понимание, что все перечисленные методы базируются на качественных геоданных. ГИС служат платформой для:

- Визуализации и анализа маршрутной сети.
- Расчета зон пешеходной доступности остановок.
- Анализа плотности населения и точек притяжения.
- Создания тематических карт, необходимых для обоснования управленческих решений по изменению транспортной сети.

Заключение

Проведенный обзор демонстрирует, что методы оптимизации автобусного движения эволюционировали от простых табличных расчетов к сложным интеллектуальным системам, основанным на ИИ и больших данных. Несмотря на кажущуюся сложность и дороговизну некоторых решений, существуют и доступные инструменты, такие как сервисы на основе ИИ для анализа маршрутных сетей, которые могут быть эффективно применены в городе Пскове. Комбинация классических подходов с внедрением элементов ИТС и ИИ, основанных на качественных картографических и статистических данных, позволит существенно повысить качество транспортного обслуживания населения, не прибегая к радикальным и затратным мерам.

Список литературы

1. Бондаренко А.О. Оптимизация загруженности городских пассажиропотоков в условиях интеллектуализации управления транспортными системами: методика и математическая модель // Вестник университета (Государственный университет управления). 2025. № 12. С. [Электронный ресурс]. URL: <https://vestnik.guu.ru/jour/article/view/6560> (дата обращения: 07.05.2026).
2. Разработанная ЗащитаИнфоТранс система «Оптуран» – на всех площадках Мосгортранса // ЗащитаИнфоТранс : офиц. сайт. 2025. 11 июня. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.z-it.ru/news/detail/5233/> (дата обращения: 07.05.2026).

3. Маршрут перестроен: в ИТМО разработали ИИ-сервис для оптимизации маршрутов общественного транспорта – ConnectPT // CNews : сетевое издание. 2025. 30 окт. [Электронный ресурс]. URL: https://ai.cnews.ru/news/line/2025-10-30_marshrut_perestroen_v_itmo (дата обращения: 07.05.2026).
4. Аземша С.А. Интеллектуальная система мультимаршрутного планирования работы пассажирских транспортных средств // Вестник МАДИ. 2026. Вып. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.adi-madi.ru/madi/article/view/1552> (дата обращения: 07.05.2026).
5. Фадюшин А.А. Цифровой двойник городского пассажирского транспорта общего пользования : карточка проекта, поддержанного Российским научным фондом (проект № 24-79-00192). [Электронный ресурс]. URL: <https://rscf.ru/project/24-79-00192/> (дата обращения: 07.05.2026).
6. «Ростелеком» развивает интеллектуальную транспортную систему во Владимире // ComNews. 2025. 7 авг. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.comnews.ru/content/240593/2025-08-07/2025-w32/1011/rostelekom-razvivaet-intellektualnuyu-transportnuyu-sistemu-vo-vladimire> (дата обращения: 07.05.2026).
7. Селезнева Н.А., Негурица Р.В. Определение эффективности управления городскими автобусными перевозками // Вести Автомобильно-дорожного института. 2024. [Электронный ресурс]. URL: <https://ojs.donntu.ru/vestiadi/article/view/397> (дата обращения: 07.05.2026).
8. Земба А.П., Вовна Д.С., Семченков С.С. Применение геоинформационных технологий при формировании сети маршрутного пассажирского транспорта // Автотракторостроение и автомобильный транспорт : сб. науч. тр. : в 2 т. / Белорус. нац. техн. ун-т. Минск : БНТУ, 2025. Т. 2. С. 143–147. [Электронный ресурс]. URL: <https://rep.bntu.by/handle/data/161446> (дата обращения: 07.05.2026).
9. Аземша С.А. Расчет показателей дублируемости маршрутов и разработка направлений оптимизации работы городского пассажирского транспорта регулярного сообщения // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В, Промышленность. Прикладные науки. 2025. № 2(52). С. 53–59. DOI:

10.52928/2070-1616-2025-52-2-53-59. [Электронный ресурс]. URL: <https://elib.psu.by/handle/123456789/48346> (дата обращения: 07.05.2026).

10. Аземша С.А. Интеграция инфраструктурных ограничений в мультимаршрутный метод организации пассажирских перевозок : доклад на Междунар. науч.-практ. конф. «Транспортная, авиационная и аэрокосмическая инженерия: технологии, моделирование и инновации» (TAVIA 2026) // Белорусский государственный университет транспорта : офиц. сайт. 2026. 27 янв. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.bsut.by/novosti-kafedr/20530-umnoe-upravlenie-obshchestvennym-transportom-doklad-belguta-na-tavia-2026> (дата обращения: 07.05.2026).

11. Лю Ю., Саражинский Д.С., Капский Д.В. Разработка и применение алгоритмов гибкого регулирования для повышения качества движения МТС на регулируемых перекрестках // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. 2025. № 2. С. 42–52. DOI: 10.52928/2070-1616-2025-52-2-42-52. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.journals.psu.by/industry/article/view/8095> (дата обращения: 07.05.2026).

12. Оптимизация маршрутов общественного транспорта для крупномасштабных мультимодальных сетей / ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет» // АНГТУ : электрон. науч. журн. 2024. С. 266–270. [Электронный ресурс]. URL: <https://angtu.editorum.ru/ru/nauka/article/91874/view> (дата обращения: 07.05.2026).

13. Докучаев С.Е. Математические основы прогнозирования загруженности городского общественного транспорта // Молодой ученый. 2025. № 50 (601). С. 4–7. [Электронный ресурс]. URL: <https://moluch.ru/archive/601/131331> (дата обращения: 07.05.2026).

14. Создание модели изменений маршрутной сети общественного транспорта в г. Севастополе с учетом прогнозных расчетов // АНГТУ : электрон. науч. журн. 2025. С. 157–158. [Электронный ресурс]. URL: <https://angtu.editorum.ru/ru/nauka/article/97878/view> (дата обращения: 07.05.2026).

15. Исследование пространственной неравномерности пассажиропотоков городского пассажирского транспорта // НаукарУ : электрон. науч. журн. 2025. С. 50–60. [Электронный ресурс]. URL: <https://naukaru.ru/ru/nauka/article/96296/view> (дата обращения: 07.05.2026).
16. Ромах Е.А., Карпачевский А.М. Геоинформационное моделирование нагрузки на сеть общественного транспорта в утренний час пик // Геодезия и картография. 2025. № 6. С. 23–33. [Электронный ресурс]. URL: https://geocartography.ru/scientific_article/2025_6_23-33 (дата обращения: 07.05.2026).
17. Development of Differentiated Norms of Bus Trip Duration by Periods of the Day for Increasing the Movement Regularity // Advances in Mechanical Engineering and Transport. 2024. Vol. 2, № 23. P. 142–151. DOI: 10.36910/automash.v2i23.1536. [Электронный ресурс]. URL: <https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/jurnal-mbf/article/view/1536> (дата обращения: 07.05.2026).
18. Горбачев А.М. Математическая модель аperiodических маршрутных расписаний городского электрического транспорта // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2018. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskaya-model-aperiodicheskikh-marshrutnyh-raspisaniy-gorodskogo-elektricheskogo-transporta> (дата обращения: 07.05.2026).
19. Обзор моделей и методов оптимизации расписаний и графиков движения маршрутного городского и магистрального транспорта // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2022. С. 287–295. [Электронный ресурс]. URL: <https://itt-pgups.ru/ru/nauka/article/52788/view> (дата обращения: 07.05.2026).
20. Горбачев А.М. Обзор математических моделей расписаний маршрутного городского транспорта // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2018. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-matematicheskih-modeley-raspisaniy-marshrutnogo-gorodskogo-transporta> (дата обращения: 07.05.2026).

21. Адаптивные светофоры в Петербурге ускоряют автобусы и трамваи // Газета СЗР РУ. 2025. 19 нояб. [Электронный ресурс]. URL: <https://gazeta.spb.ru/2642120-adaptivnye-svetofory-v-peterburge-uskoryayut-avtobusy-i-tramvai/> (дата обращения: 07.05.2026).