



Научная статья | Транспортные и транспортно-технологические системы

СПОСОБЫ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ ГОРОДСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ

Г.Г. Дудайти, А.И. Сазонов, М.Д. Ларин, А.С. Тришин

Аннотация

Обоснование. В условиях ускоренной урбанизации оптимизация логистической инфраструктуры становится важнейшим направлением в обеспечении устойчивого и эффективного функционирования городской мобильности. Увеличение плотности транспортных потоков, рост требований к экологической безопасности и ограниченность городского пространства требуют внедрения комплексных решений, основанных на цифровых технологиях и системной интеграции различных видов транспорта.

Цель. Обоснование эффективных подходов к оптимизации городской транспортной сети с использованием цифровых технологий, интеллектуальных транспортных систем и мультимодальных решений, направленных на повышение пропускной способности, сокращение задержек и снижение экологической нагрузки.

Материалы и методы. В качестве методологической основы используются принципы системного анализа, сравнительное изучение реализованных транспортных решений, а также имитационное моделирование транспортных потоков с использованием программного комплекса SUMO, позволяющего оценить эффективность различных сценариев управления городской мобильностью. Моделирование проводилось для типовой городской агломерации с учетом параметров реального трафика.

Результаты. Применение адаптивного светофорного регулирования снижает среднюю задержку на перекрестках до 45%, а выбросы

CO₂ – до 24 % по сравнению с базовым сценарием. Кроме того, проведенный анализ современных технологических и организационных решений подтвердил высокую эффективность интеграции интеллектуальных транспортных систем, платформ обработки больших данных и мультимодальных стратегий в обеспечении устойчивого функционирования городской транспортной сети.

Ключевые слова: интеллектуальные транспортные системы; городская мобильность; цифровизация; электротранспорт; экологическая устойчивость; городской транспорт

Для цитирования. Дудайти, Г. Г., Сазонов, А. И., Ларин, М. Д., & Тришин, А. С. (2025). Способы оптимизации работы городской транспортной сети. *Transportation and Information Technologies in Russia*, 15(3), 7–26. <https://doi.org/10.12731/3033-5965-2025-15-3-371>

Original article | Transport and Transport-Technological Systems

METHODS FOR OPTIMIZING URBAN TRANSPORT NETWORK PERFORMANCE

G.G. Dudaiti, A.I. Sazonov, M.D. Larin, A.S. Trishin

Abstract

Background. In the context of accelerated urbanization, the optimization of logistics infrastructure has become a critical component in ensuring the sustainable and efficient functioning of urban mobility. The increasing density of traffic flows, growing environmental safety requirements, and limited urban space necessitate the implementation of integrated solutions based on digital technologies and the systemic integration of various modes of transport.

Purpose. To substantiate effective approaches for optimizing urban transport networks through the use of digital technologies, intelligent transport systems, and multimodal strategies aimed at increasing throughput, reducing delays, and lowering environmental impact.

Materials and methods. The methodological framework is based on systems analysis principles, comparative assessment of implemented transport practices, and traffic flow simulation using the SUMO software package, which allows for evaluating the effectiveness of different urban mobility management scenarios. The modeling was conducted for a representative urban agglomeration, taking into account real traffic parameters.

Results. The application of adaptive traffic signal control reduced average intersection delays by up to 45% and CO₂ emissions by up to 24% compared to the baseline scenario. Furthermore, the analysis of modern technological and organizational solutions confirmed the high effectiveness of integrating intelligent transport systems, big data platforms, and multimodal strategies in ensuring the sustainable performance of urban transport networks.

Keywords: intelligent transport systems; urban mobility; digitalization; electric transport; environmental sustainability; urban transport

For citation. Dudaiti, G. G., Sazonov, A. I., Larin, M. D., & Trishin, A. S. (2025). Methods for optimizing urban transport network performance. *Transportation and Information Technologies in Russia*, 15(3), 7–26. <https://doi.org/10.12731/3033-5965-2025-15-3-371>

Введение

Стремительное развитие городов является одной из важнейших тенденций глобального социально-экономического преобразования. Согласно данным ООН, более 4 млрд человек – свыше половины населения мира – проживают в городских агломерациях, и это значение продолжает увеличиваться. В совокупности с общим расширением городской застройки эта тенденция оказывает значительное давление на транспортную инфраструктуру, что сопровождается перегрузкой сетей, снижением пропускной способности и ростом негативного экологического воздействия. В этих условиях традиционные подходы к организации городской мобильности оказываются недостаточно эффективными и требуют внедрения инновационных решений, основанных на современных технологиях и системной интеграции.

Целью настоящего исследования является формирование научно обоснованной концепции оптимизации городской транспортной сети с акцентом на применение интеллектуальных транспортных систем (ИТС), цифровых платформ управления, а также моделей интеграции различных видов транспорта.

Методологическая основа исследования включает системный подход, применяемый для анализа взаимосвязей между элементами транспортной инфраструктуры; методы сравнительного анализа, используемые при оценке эффективности реализованных решений в различных урбанизированных регионах; а также методы математического моделирования и анализа данных, позволяющие идентифицировать оптимальные сценарии регулирования транспортных потоков и прогнозирования загрузки сети.

Основная часть

Современное состояние городской транспортной сети

Городские транспортные системы во многих странах мира функционируют в условиях высокой нагрузки, вызванной сочетанием демографического роста, пространственной экспансии урбанизированных территорий и увеличения плотности транспортных потоков. Согласно исследованиям аналитической компании JATO Dynamics, общее количество автомобилей в мире в 2024 году выросло до 1,475 млрд – это приблизительно 182 автомобиля на 1000 человек.

Проблема перегруженности транспортной инфраструктуры актуальна даже для городов с развитой системой общественного транспорта [1]. В Москве, например, средняя скорость движения автомобилей составляет 30 км/ч в дневное время при благоприятной обстановке. В центре Нью-Йорка, особенно в районе Манхэттена, средняя скорость автомобильного движения – всего 7-11 км/ч, тогда как в других крупных городах США (например, Бостон, Чикаго) этот показатель колеблется в пределах 35-45 км/ч. Для сравнения, в ряде европейских городов ситуация с транспортной доступностью аналогична: так, в центре Парижа средняя ско-

рость автомобильного движения составляет около 11 км/ч, а на кольцевой автодороге Периферик – порядка 34 км/ч, что сопоставимо с показателями мегаполисов с высокой плотностью застройки и ограниченным улично-дорожным пространством.

Общественный транспорт на фоне устойчивого роста пассажиропотока также сталкивается с серьезными проблемами, связанными с перегрузкой, устареванием инфраструктуры и несоответствием потребностям населения [2]. По данным Международного союза общественного транспорта (UITP), одним из значимых показателей эффективности транспортной системы является время ожидания пассажира в часы пик. В большинстве крупных городов мира оно колеблется от 6 до 12 минут, однако в ряде городов может превышать 12 минут, что свидетельствует о перегруженности сети и недостаточной пропускной способности (рис. 1).

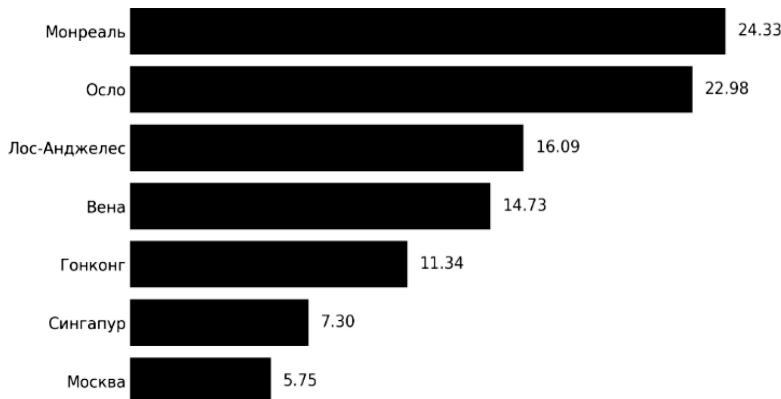


Рис. 1. Среднее время ожидания общественного транспорта в часы пик, мин

Маршруты общественного транспорта часто плохо адаптированы к современной географии городской активности, особенно в периферийных районах, что снижает его доступность и стимулирует рост использования личных автомобилей, усиливая нагрузку на дорожную сеть и снижая общую эффективность транспортной системы [3]. Так, например, по данным UITP, протяженность маршрутов

общественного транспорта на 100 000 жителей в Гонконге – 23 км, в Нью-Йорке – 5 км, в Париже – 8 км, в Сиднее – 9 км.

Таким образом, состояние городской транспортной инфраструктуры во многих городах мира можно охарактеризовать как перегруженное, фрагментированное и недостаточно адаптированное к современным требованиям мобильности.

Цифровая трансформация и применение ИТС в управлении городской мобильностью

В условиях растущей сложности городской мобильности цифровизация транспортной инфраструктуры становится неотъемлемым элементом устойчивого и эффективного управления транспортными потоками. **ИТС** представляют собой совокупность технологических решений, основанных на интеграции информационных, телекоммуникационных и вычислительных технологий с элементами транспортной сети. Основной задачей ИТС является повышение пропускной способности дорог, сокращение времени поездки, снижение аварийности и минимизация воздействия на окружающую среду за счет адаптивного и прогнозируемого управления движением [4]. По данным Grand View Research, размер мирового рынка ИТС в 2024 году оценивался в 54,5 млрд долларов США (рис. 2).

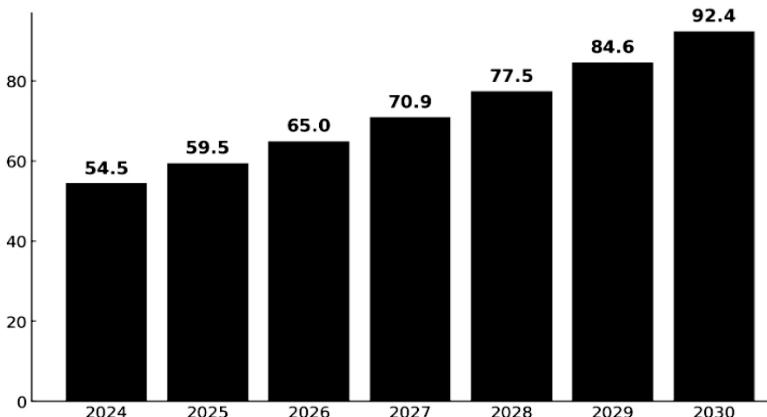


Рис. 2. Размер мирового рынка ИТС, млрд долларов

Одним из важнейших компонентов ИТС является **система адаптивного управления дорожным движением**, основанная на применении датчиков, камер и алгоритмов анализа данных в реальном времени [5]. Она позволяет регулировать работу светофоров с учетом текущей загруженности, автоматически перенаправлять потоки транспорта в случае аварий или перегрузок, а также информировать участников движения через цифровые табло и мобильные приложения. Например, по данным Министерства транспорта США, адаптивное управление сигналами дорожного движения позволяет сократить количество остановок на 10-41%, и задержек транспорта в целом на 5-42%.

В России эффективность внедрения систем адаптивного управления дорожным движением на региональном уровне подтверждается практическими результатами пилотного проекта, реализованного в городе Пенза с населением около 500 тысяч человек. По данным платформы «ИТС России», на одной из ключевых городских магистралей – улице Терновского – была внедрена система сетевого адаптивного управления светофорами. В результате средняя скорость движения возросла на 125% – с 20 до 45 км/ч, время функционирования участка в режиме перегрузок сократилось на 67% – с 3 до 1 часа, а пропускная способность в часы пик увеличилась на 48%.

Неотъемлемой частью построения эффективной транспортной политики в современных городах являются **платформы анализа больших данных**. Используемые источники данных – от навигационных сигналов до видеоаналитики – позволяют не только отслеживать и прогнозировать транспортные потоки, но и обеспечивают адаптивное управление инфраструктурой в режиме реального времени (таблица 1).

Интеграция таких источников в единые цифровые платформы позволяет переходить от реактивного управления к проактивному моделированию и прогнозированию транспортной ситуации. Это значительно повышает адаптивность городской транспортной

сети, снижает издержки и способствует более рациональному использованию инфраструктуры. Например, согласно данным Texas A&M Transportation Institute, оптимизация автобусных маршрутов с использованием больших данных привела к сокращению времени поездок до 20 %

Таблица 1.

Применение больших данных в ИТС [6, 7]

Источник данных	Функции и применение	Применение в ИТС
GPS-навигаторы	Отслеживание положения транспортных средств, построение маршрутов.	Построение прогностических моделей движения.
Мобильные устройства	Сбор данных о перемещениях пассажиров, прогнозирование загрузки.	Анализ транспортного спроса и плотности потоков.
Платежные системы	Анализ поездок и трат, оптимизация тарифных моделей.	Оценка эффективности маршрутов и расписаний
Камеры видеонаблюдения	Распознавание трафика, фиксация загруженности и нарушений.	Управление сигналами, моделирование ситуаций в реальном времени.

Еще одним направлением цифровой трансформации городской мобильности являются **автоматизированные системы мониторинга общественного транспорта**. Они обеспечивают непрерывное слежение за перемещением и контроль соблюдения графиков. Развитие таких систем опирается на современные архитектуры потоковой обработки данных в режиме реального времени, обеспечивающие высокую надежность и аналитическую доступность [8]. Подобные технологии позволяют интегрировать данные от GPS, датчиков и расписаний в единую платформу, повышая точность управления транспортом и оперативность реагирования. Например, в Чикаго внедрение таких решений позволило снизить долю маршрутов с нарушением равномерности движения с 3,9 % до 2,3 % за два года.

Таким образом, цифровизация в целом и внедрение ИТС радикально меняют традиционные подходы к управлению городской

мобильностью – переход от фрагментарного, реактивного управления к проактивному, основанному на аналитике и прогнозировании, становится новой нормой.

Формирование мультимодальной городской мобильности как способ оптимизации работы городской транспортной сети

Одной из тенденций в развитии городской мобильности является переход от изолированных форм транспорта к их интеграции в единую, согласованную систему. Практика показывает, что это способствует сокращению времени поездки, повышению устойчивости трафика и более рациональному использованию инфраструктуры (таблица 2).

Таблица 2.
Современные концепции интеграции транспортных систем [9, 10]

Концепция	Задачи	Элементы реализации
Transport hub (транспортно-пересадочный узел)	Концентрация разных видов транспорта в одной точке пересадки.	Объединение метро, автобусов, электричек; наличие навигации, сервисов, парковок.
Park-and-ride (система «перехватывающих парковок»)	Перехватывающие парковки на подступах к центру города.	Стоянка личного авто + пересадка на общественный транспорт.
Mobility as a service (мобильность как услуга)	Интеграция всех видов транспорта через цифровую платформу.	Мобильные приложения, маршрутный планировщик, единая оплата, персонализированные предложения.
Last-mile integration (интеграция «последней мили»)	Решения для последних километров маршрута.	Велопрокат, электросамокаты, пешеходные зоны, микроавтобусы.
Smart ticketing (интеллектуальная (унифицированная) система оплаты)	Унифицированная система оплаты всех видов транспорта.	Единые транспортные карты, NFC, бесконтактная оплата через приложения.

Мультимодальная модель особенно эффективна в условиях мегаполисов и городских агломераций, где существует значительное пространственное разделение между местами проживания и деловой активностью. Примером эффективной интеграции транспортных форм служит pilotный проект MARTA Reach, реализованный в августе

2023 года в пригородных зонах Атланты (США). Он объединил традиционные фиксированные автобусные маршруты с on-demand микроавтобусами, что позволило значительно улучшить охват территории с низкой плотностью населения и слаборазвитой транспортной сетью [11]. В результате более 50 % всех совершенных поездок в рамках проекта стали мультимодальными, то есть включали пересадку на железнодорожный транспорт. Это снизило зависимость жителей от личных автомобилей и коммерческих такси.

Еще одним примером формирования мультимодальной модели городской среды являются сервисы каршеринга и велопроката, которые интегрируются с системой общественного транспорта и существенно расширяют возможности передвижения [12]. По данным Statista, число пользователей каршеринга во всем мире в 2024 году достигло 57 млн человек и этот показатель продолжает расти (рис. 3).

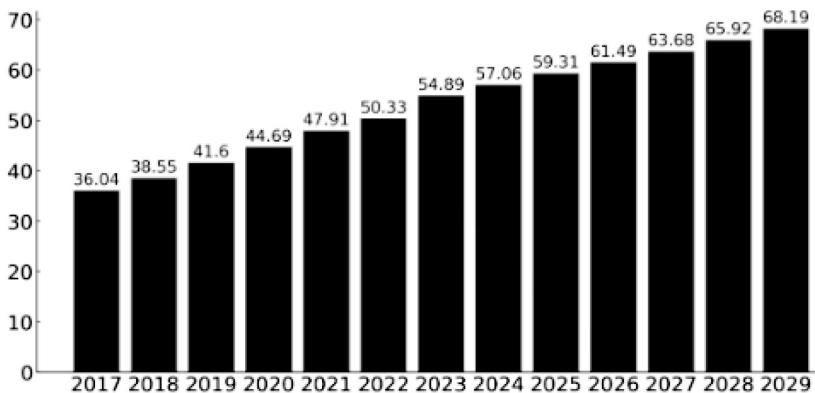


Рис. 3. Число пользователей каршеринга во всем мире, млн человек

По данным на конец 2024 года, каршеринг в Москве остается крупнейшим в мире – в нем насчитывается более 40 000 автомобилей и свыше 1,7 млн активных пользователей. Ежедневно совершается около 140 000 поездок, что позволяет снизить нагрузку на личный автотранспорт, особенно в центральных районах города. Развитие таких форм персонализированной мобильности способ-

ствует оптимизации городской транспортной сети, позволяя снизить количество одиночных автопоездок, уменьшить потребность в парковках и сократить выбросы загрязняющих веществ.

Экологическая устойчивость городской транспортной системы

Несмотря на меры по декарбонизации экономики и активное развитие возобновляемых источников энергии, антропогенные выбросы продолжают расти, оказывая прямое влияние на климатическую систему планеты. Согласно отчетам Международного энергетического агентства, общие выбросы CO₂, связанные с энергетикой, в 2024 году увеличились на 0,8 %, достигнув рекордного уровня в 37,8 гигатонн CO₂. Это привело к рекордной концентрации CO₂ в атмосфере в 422,5 частей на миллион, что примерно на 50 % выше, чем доиндустриальный уровень. При этом в 2024 году транспорт обеспечил около 21 % глобальных выбросов CO₂, более половины из них пришлось на автотранспорт в городах. Снижение экологической нагрузки требует системного перехода от традиционного топлива к электрическим и низкоуглеродным решениям, а также переосмыслиния логистических схем в условиях высокой плотности городской застройки [13].

Одним из приоритетных направлений в рамках декарбонизации городской мобильности является **развитие электротранспорта**. По данным IEA, количество электромобилей во всем мире по сценарию APS к 2035 году составит более 510 млн, из них автобусов – до 5 млн (рис. 4).

Увеличение доли электротранспорта свидетельствует о структурной трансформации городской транспортной сети в сторону устойчивых и низкоуглеродных решений, направленных на снижение загрязнения воздуха, уменьшение выбросов CO₂ и повышение энергоэффективности городской мобильности.

Другим важным аспектом является **экологизация и оптимизация городской логистики**, особенно в контексте так называемой «последней мили» (last-mile delivery) – заключительного этапа доставки товаров к конечному потребителю. По данным Precedence

Research, объем мирового рынка доставки «последней мили» в 2024 году составил 169,95 млрд долларов США. По прогнозам, он вырастет до примерно 446,29 млрд долларов США к 2034 году.

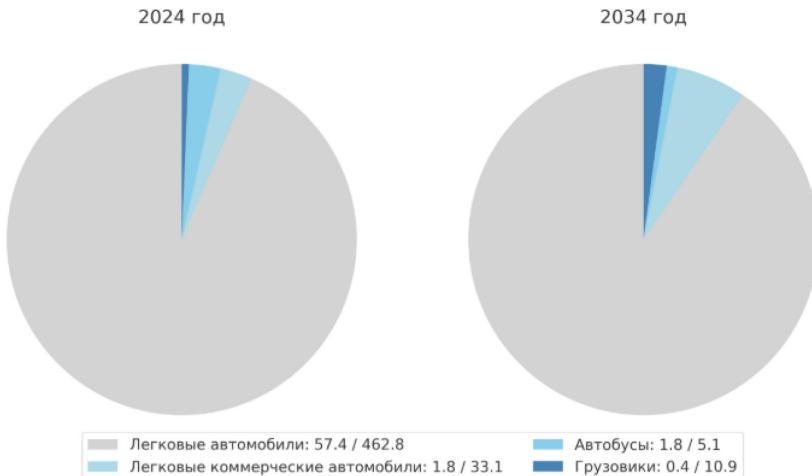


Рис. 4. Количество электромобилей во всем мире по сценарию APS, млн

Рост электронной коммерции сопровождается увеличением количества малотоннажного транспорта, что создает дополнительные выбросы и усиливает нагрузку на улично-дорожную сеть. В ответ на это во многих городах внедряются решения по консолидации грузопотоков, организации малых логистических хабов, использованию электротранспорта и велосипедных курьеров на последнем этапе доставки [14]. Например, почтовая служба США (USPS) планирует закупку 66 000 электрических фургонов до 2028 года. В России, согласно исследованиям онлайн-сервиса доставки СберМаркет, в 2024 году каждый третий курьер использовал велосипед, а 22% из них – электровелосипед.

Таким образом, трансформация городского транспорта предполагает не только технологические инновации, но и институциональные, планировочные и поведенческие изменения. Эффективное сочетание электрификации и реформы городской логистики

позволяет формировать устойчивую модель мобильности, ориентированную на снижение углеродного следа и повышение качества городской среды.

Практическая реализация стратегий оптимизации городской транспортной сети на основе инструментов имитационного моделирования

С целью количественной оценки эффективности различных стратегий оптимизации городской транспортной сети было проведено моделирование с использованием программного комплекса SUMO (Simulation of Urban MObility). Объектом моделирования стала центральная часть условного города, сопоставимая по морфологии с типовой средней городской агломерацией численностью 300–500 тыс. человек, включающая жилую и административно-деловую застройку, сеть магистралей непрерывного и регулируемого движения.

Моделируемый участок представляет собой центральную часть городской улично-дорожной сети протяженностью 10,8 км, включающую 10 регулируемых перекрестков. В утренние часы пик по данному участку проходит в среднем около 2400 транспортных средств в час. Структура трафика характеризуется доминированием легкового автотранспорта (82 %), при участии маршрутных транспортных средств (12 %) и прочих видов (6 %).

В рамках исследования были рассмотрены три сценария:

- Базовый (инерционный) сценарий: текущая организация движения без цифрового управления.
- Сценарий внедрения адаптивного светофорного регулирования: применение алгоритмов управления сигналами на основе данных в реальном времени.
- Сценарий пространственной оптимизации: перераспределение уличного пространства в пользу общественного транспорта, введение ограничений для транзита и нерегулярного транспорта.

Для каждого из сценариев была произведена количественная оценка ключевых параметров транспортной эффективности, вклю-

чая скорость движения, задержки, устойчивость потока и уровень выбросов (таблица 3).

Таблица 3.
**Сравнительный анализ показателей эффективности транспортной сети
в различных сценариях моделирования**

Показатель	Сце- нарий 1	Сце- нарий 2	Сце- нарий 3
Средняя скорость движения, км/ч	19,2	26,4	23,1
Средняя задержка на перекрестках, сек	51	28	35
Доля транспорта, теряющего более 20 % времени, %	58	33	39
Время прохождения участка, мин	21,7	15,3	17,9
Расчётные выбросы CO ₂ , на участок, г/ТС	138	104	117

Результаты моделирования показывают, что внедрение адаптивного регулирования (сценарий 2) позволяет достичь наилучших показателей: средняя задержка снижается на 45 %, а выбросы CO₂ – на 24 % по сравнению с базовым сценарием. Сценарий пространственной оптимизации демонстрирует умеренные улучшения, особенно при условии дополнительного внедрения приоритетов для общественного транспорта и ограничения доступа личного автотранспорта. Таким образом, моделирование подтверждает эффективность цифровых инструментов управления в условиях ограниченной возможности физической реконструкции уличной сети.

Заключение

Оптимизация городской транспортной сети требует комплексного подхода, включающего как цифровизацию управления движением, так и пространственную и функциональную интеграцию различных видов транспорта. ИТС, платформы анализа больших данных, внедрение адаптивного светофорного регулирования и переход к мультимодальной мобильности демонстрируют значительный потенциал в повышении эффективности городской мобильности, снижении времени поездки и уменьшении выбросов. Имитационное моделирование подтверждает, что даже частичное

внедрение ИТС может обеспечить существенные улучшения по сравнению с инерционным сценарием, особенно в условиях высокой загрузки магистралей.

В то же время, устойчивое развитие транспортной системы невозможно без экологической трансформации – в первую очередь за счет электрификации подвижного состава и реформы городской логистики. Данные указывают на необходимость стратегической координации между транспортной, энергетической и цифровой политикой. Интеграция технических, институциональных и поведенческих решений должна стать основой для формирования гибкой, адаптивной и экологически безопасной городской транспортной среды, способной эффективно реагировать на вызовы урбанизации, изменения климата и роста мобильности населения.

Список литературы

1. Какалыева, А., & Керими, К. (2024). Оптимизация процессов в транспортной логистике: современные подходы, инновации и вызовы в контексте глобализации. *Всемирный учёный*, 1(25), 889–895.
2. Гурбанов, Ы., Аннагелдиева, Н., & Джапаров, О. (2024). Взаимосвязь плотности застройки и развития общественного транспорта в контексте устойчивого градостроительства. *Вестник науки*, 4(12), 1861–1864. EDN: <https://elibrary.ru/JCQLNZ>
3. Xiao, M., Chen, L., Feng, H., Peng, Z., & Long, Q. (2024). Smart city public transportation route planning based on multi-objective optimization: A review. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 31(6), 3351–3375. <https://doi.org/10.1007/s11831-024-10076-9>. EDN: <https://elibrary.ru/CYCXXD>
4. Sarwatt, D. S., Lin, Y., Ding, J., Sun, Y., & Ning, H. (2024). Metaverse for intelligent transportation systems (ITS): A comprehensive review of technologies, applications, implications, challenges and future directions. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 25(7), 6290–6308. <https://doi.org/10.1109/TITS.2023.3347280>

5. Тихомиров, П. В., Митряев, Н. С., & Кухарев, К. С. (2024). Повышение эффективности систем управления улично-дорожной сетью. *Мир транспорта и технологических машин*, 120–122. [https://doi.org/10.33979/2073-7432-2024-2-1\(85\)-120-126](https://doi.org/10.33979/2073-7432-2024-2-1(85)-120-126). EDN: <https://elibrary.ru/DCAXYY>
6. Сысоенко, М. В., & Лебедева, А. С. (2024). Анализ применения технологий Индустрии 4.0 в интеллектуальных транспортных системах. *Экономика. Право. Инновации*, 4, 30–39. <https://doi.org/10.17586/2713-1874-2024-4-30-39>. EDN: <https://elibrary.ru/MVPWMQ>
7. Miftah, M., Desrianti, D. I., Septiani, N., Fauzi, A. Y., & Williams, C. (2025). Big data analytics for smart cities: Optimizing urban traffic management using real-time data processing. *Journal of Computer Science and Technology Application*, 2(1), 14–23.
8. Terletska, K. (2025). Architecting event-driven stream processing: Technologies for reliability and analytical availability in distributed computing systems. *International Journal of Scientific Research and Engineering Development*, 8(3), 667–671.
9. Малышев, М. И. (2024). Управление формированием комплексных транспортных систем в процессе интеграции мультимодальных коридоров и региональной инфраструктуры на основе киберфизической модели. *Мир транспорта и технологических машин*, 3–10. [https://doi.org/10.33979/2073-7432-2024-4-2\(87\)-3-9](https://doi.org/10.33979/2073-7432-2024-4-2(87)-3-9). EDN: <https://elibrary.ru/ERDHQI>
10. Мазурина, А. В., & Степанова, Т. В. (2022). Цифровая трансформация логистики «последней мили»: теоретический анализ. *Учёные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Экономика и управление*, 8(4), 50–60. EDN: <https://elibrary.ru/WCQWHS>
11. Van Hentenryck, P., Riley, C., Trasatti, A., Guan, H., Santanam, T., Huertas, J. A., Dalmeijer, K., Watkins, K., Drake, J., & Baskin, S. (2023). *MARTA Reach: Piloting an on-demand multimodal transit system in Atlanta*. Georgia Institute of Technology, Atlanta, 1, 1–31.

12. Слободчиков, Н. А., Дергачев, А. И., & Куранова, О. Н. (2023). Перспективное развитие новых услуг сервиса в городском транспортном потоке. *Известия Петербургского университета путей сообщения*, 20(2), 279–289. <https://doi.org/10.20295/1815-588X-2023-2-279-289>. EDN: <https://elibrary.ru/JQAPML>
13. Кирильчук, И. О., & Емельянов, И. П. (2024). Экологические аспекты внедрения интеллектуальных транспортных систем в управление транспортной инфраструктурой современного города. *Управленческий учёт*, 8, 50–56. EDN: <https://elibrary.ru/KSPPCD>
14. Гарун, С. С., & Султанов, Н. Г. (2024). Экологизация умных городов: влияние цифровых технологий на устойчивое развитие. *Региональные проблемы преобразования экономики*, 12, 90–99. <https://doi.org/10.26726/rppe2024v12euvct>. EDN: <https://elibrary.ru/DRLSDS>

References

1. Kakalyeva, A., & Kerimi, K. (2024). Optimization of processes in transport logistics: Modern approaches, innovations and challenges in the context of globalization. *World Scientist*, 1(25), 889–895.
2. Gurbanov, Y., Annageldieva, N., & Japarov, O. (2024). The relationship between building density and public transport development in the context of sustainable urban planning. *Bulletin of Science*, 4(12), 1861–1864. EDN: <https://elibrary.ru/JCQLNZ>
3. Xiao, M., Chen, L., Feng, H., Peng, Z., & Long, Q. (2024). Smart city public transportation route planning based on multi-objective optimization: A review. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 31(6), 3351–3375. <https://doi.org/10.1007/s11831-024-10076-9>. EDN: <https://elibrary.ru/CYCXXD>
4. Sarwatt, D. S., Lin, Y., Ding, J., Sun, Y., & Ning, H. (2024). Metaverse for intelligent transportation systems (ITS): A comprehensive review of technologies, applications, implications, challenges and future directions. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 25(7), 6290–6308. <https://doi.org/10.1109/TITS.2023.3347280>

5. Tikhomirov, P. V., Mitryaev, N. S., & Kukharev, K. S. (2024). Improving the efficiency of traffic management systems. *World of Transport and Technological Machines*, 120–122. [https://doi.org/10.33979/2073-7432-2024-2-1\(85\)-120-126](https://doi.org/10.33979/2073-7432-2024-2-1(85)-120-126). EDN: <https://elibrary.ru/DCAXYY>
6. Sysoenko, M. V., & Lebedeva, A. S. (2024). Analysis of Industry 4.0 technologies in intelligent transport systems. *Economics. Law. Innovations*, 4, 30–39. <https://doi.org/10.17586/2713-1874-2024-4-30-39>. EDN: <https://elibrary.ru/MVPWMQ>
7. Miftah, M., Desrianti, D. I., Septiani, N., Fauzi, A. Y., & Williams, C. (2025). Big data analytics for smart cities: Optimizing urban traffic management using real-time data processing. *Journal of Computer Science and Technology Application*, 2(1), 14–23.
8. Terletska, K. (2025). Architecting event-driven stream processing: Technologies for reliability and analytical availability in distributed computing systems. *International Journal of Scientific Research and Engineering Development*, 8(3), 667–671.
9. Malyshev, M. I. (2024). Managing the formation of integrated transport systems through the integration of multimodal corridors and regional infrastructure based on a cyber-physical model. *World of Transport and Technological Machines*, 3–10. [https://doi.org/10.33979/2073-7432-2024-4-2\(87\)-3-9](https://doi.org/10.33979/2073-7432-2024-4-2(87)-3-9). EDN: <https://elibrary.ru/ERDHQI>
10. Mazurina, A. V., & Stepanova, T. V. (2022). Digital transformation of last-mile logistics: A theoretical analysis. *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Economics and Management*, 8(4), 50–60. EDN: <https://elibrary.ru/WCQWHS>
11. Van Hentenryck, P., Riley, C., Trasatti, A., Guan, H., Santanam, T., Huertas, J. A., Dalmeijer, K., Watkins, K., Drake, J., & Baskin, S. (2023). *MARTA Reach: Piloting an on-demand multimodal transit system in Atlanta*. Georgia Institute of Technology, Atlanta, 1, 1–31.
12. Slobodchikov, N. A., Dergachev, A. I., & Kuranova, O. N. (2023). Prospective development of new service offerings in urban traffic flow. *Proceedings of Petersburg Transport University*, 20(2), 279–289.

- <https://doi.org/10.20295/1815-588X-2023-2-279-289>. EDN: <https://elibrary.ru/JQAPML>
13. Kirilchuk, I. O., & Emelyanov, I. P. (2024). Environmental aspects of implementing intelligent transport systems in managing modern city transport infrastructure. *Management Accounting*, 8, 50–56. EDN: <https://elibrary.ru/KSPPCD>
14. Garun, S. S., & Sultanov, N. G. (2024). Greening smart cities: The impact of digital technologies on sustainable development. *Regional Problems of Economic Transformation*, 12, 90–99. <https://doi.org/10.26726/rppe2024v12euvct>. EDN: <https://elibrary.ru/DRLSDS>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Дудайти Георгий Георгиевич, магистр

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»

ул. Мясницкая, 20, г. Москва, 101000, Российская Федерация
gioududayti@rambler.ru

Сазонов Антон Игоревич, специалист

Московский авиационный институт
Волоколамское шоссе, 4, г. Москва, 125993, Российской Федерации
Sazonov.gmt@mail.ru

Ларин Максим Дмитриевич, магистр

Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова
пер. Стремянный, 36, г. Москва, 115054, Российской Федерации
larinmaxim23@gmail.com

Тришин Александр Сергеевич, студент 1 курса магистратуры
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»

ул. Мясницкая, 20, г. Москва, 101000, Российская Федерация
trishin.alexander4@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Georgii G. Dudaiti, master's degree

*National Research University Higher School of Economics
20, Myasnitskaya Str., Moscow, 101000, Russian Federation
giodudayti@rambler.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6021-5436>*

Anton I. Sazonov, specialist degree

*Moscow Aviation Institute
4, Volokolamskoe shosse, Moscow, 125993, Russian Federation
Sazonov.gmt@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6634-5361>*

Maksim D. Larin, master's degree

*Russian University of Economics named after G.V. Plekhanov
36, Stremyanny lane, Moscow, 115054, Russian Federation
larinmaxim23@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-9646-4123>*

Aleksandr S. Trishin, 1st year master's degree student

*National Research University Higher School of Economics
20, Myasnitskaya Str., Moscow, 101000, Russian Federation
trishin.alexander4@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7503-8570>*

Поступила 01.07.2025

Received 01.07.2025

После рецензирования 15.08.2025

Revised 15.08.2025

Принята 01.09.2025

Accepted 01.09.2025