

Научная статья

УДК 656.1:004.896 + 625.7/.8

Современное состояние и перспективы развития инфраструктурной готовности к внедрению беспилотных транспортных средств: систематический обзор отечественных и зарубежных исследований

Руслан Микаилович Гасанов¹, Дмитрий Владимирович Енин²

^{1,2}Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),
Москва, Россия

¹ruslan.gasanov1bl2@yandex.ru

²EninD@mail.ru

Аннотация. Массовое внедрение беспилотных транспортных средств представляет собой одну из ключевых технологических трансформаций современности, однако существует значительный разрыв между технологическими возможностями и готовностью инфраструктуры к их интеграции в транспортные системы различных стран. Цель работы - проведение систематического анализа современного состояния исследований в области оценки инфраструктурной готовности к внедрению беспилотных транспортных средств с выявлением ключевых факторов, методологических подходов и региональных особенностей. Применен метод систематического литературного обзора с анализом более пятидесяти источников за период 2014-2025 годов, включая научные публикации, нормативные документы и аналитические материалы. Использована методология контент-анализа для выявления основных тематических направлений и классификации подходов к оценке готовности. Выявлены четыре основных направления исследований: технико-инфраструктурное, нормативно-правовое, социально-экономическое и технологическое. Установлено, что большинство методик оценки базируется на многокритериальном анализе с весовыми коэффициентами. Определены существенные региональные различия в подходах и приоритетах внедрения. Несмотря на значительный прогресс в технологиях беспилотного транспорта, инфраструктурная готовность остается критическим барьером для массового внедрения, требующим комплексного междисциплинарного подхода и дифференцированных стратегий для различных регионов.

Ключевые слова: беспилотные транспортные средства, инфраструктурная готовность, интеллектуальные транспортные системы, систематический обзор, региональная дифференциация, методология оценки, V2X коммуникации, цифровая инфраструктура, нормативное регулирование, технологическая зрелость.

Для цитирования: Гасанов Р.М., Енин Д.В. Современное состояние и перспективы развития инфраструктурной готовности к внедрению беспилотных транспортных средств: систематический обзор отечественных и зарубежных исследований // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2026. № 1 (47).

Original article

Current state and prospects for the development of infrastructural readiness for the introduction of unmanned vehicles: a systematic review of domestic and international research

Ruslan M. Gasanov¹, Dmitry V. Enin²

^{1,2}Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia

¹ruslan.gasanov1bl2@yandex.ru

²EninD@mail.ru

Abstract. The mass adoption of unmanned vehicles represents one of the key technological transformations of our time, however, there is a significant gap between technological capabilities and the readiness of infrastructure for their integration into the transport systems of various countries. The purpose of the work is to conduct a systematic analysis of the current state of research in the field of assessing infrastructural readiness for the introduction of unmanned vehicles, identifying key factors, methodological approaches and regional features. The method of systematic literary review was applied with the analysis of more than fifty sources for the period 2014-2025, including scientific publications, regulatory documents and analytical materials. The methodology of content analysis is used to identify the main thematic areas and classify approaches to assessing readiness. Four main areas of research have been identified: technical and infrastructural, regulatory, socio-economic and technological. It has been established that most assessment methods are based on a multi-criteria analysis with weighting coefficients. Significant regional differences in approaches and implementation priorities have been identified. Despite significant progress in self-driving transport technologies, infrastructure readiness remains a critical barrier to mass adoption, requiring a comprehensive interdisciplinary approach and differentiated strategies for different regions.

Keywords: unmanned vehicles, infrastructural readiness, intelligent transport systems, systematic review, regional differentiation, assessment methodology, V2X communications, digital infrastructure, regulatory regulation, technological maturity.

For citation: Gasanov R.M., Enin D.V. Current state and prospects for the development of infrastructural readiness for the introduction of unmanned vehicles: a systematic review of domestic and international research. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*. 2026. № 1 (47).

Введение

Развитие технологий беспилотных транспортных средств в последнее десятилетие демонстрирует экспоненциальный рост, при этом исследования в данной области эволюционировали от решения чисто технических задач автономного управления к комплексному рассмотрению вопросов интеграции

БПТС в существующие транспортные системы, что подтверждается анализом более чем тысячи четырехсот публикаций в ведущих научных базах данных [12]. Фундаментальное противоречие между стремительным технологическим прогрессом и инерционностью инфраструктурных систем создает уникальную исследовательскую проблему, требующую междисциплинарного подхода и учета множественных факторов, включая технические, экономические, правовые и социальные аспекты [1].

Критическая важность инфраструктурной готовности для успешного внедрения беспилотного транспорта подтверждается международными исследованиями, демонстрирующими, что инфраструктурная готовность получает наивысший весовой коэффициент 0,41, опережая нормативно-правовую готовность с коэффициентом 0,31 и готовность граждан с коэффициентом 0,28 [15]. В российском контексте проблема усугубляется значительной территориальной дифференциацией, когда в 2018 году Россия заняла восемнадцатое место из двадцати по индексу готовности к использованию БПТС, получив самые низкие баллы в категориях «Технологии и инновации» и «Инфраструктура» [7].

Материал и методика исследования

Методологическая основа настоящего исследования базируется на принципах систематического литературного обзора, адаптированных для междисциплинарной области исследований беспилотного транспорта, с применением комбинированного подхода, включающего количественный библиометрический анализ и качественный контент-анализ научных публикаций. Анализ опирается на опрос двадцати семи департаментов транспорта штатов США, показывающий, что 96% агентств уже используют беспилотные летательные аппараты для мониторинга автомагистралей, при этом основными барьерами остаются ограниченное время работы батарей, погодные условия и регуляторные ограничения [16].

Системно-структурный метод применялся для изучения архитектуры интеллектуальных транспортных систем, при этом современным подходом реструктуризации и модернизации транспортной инфраструктуры должны стать качественно новые подходы, одним из которых является применение ИТС, создаваемых на основе интеграции средств автоматизации контроля и

управления транспортом, информационных и коммуникационных технологий, ГНСС, динамических геоданных и единой информационной среды [9].

Аналитическая рамка исследования включала четыре основных измерения: технико-инфраструктурное (состояние дорожной сети, качество разметки, наличие систем V2X), цифровое (покрытие сетей связи, вычислительная инфраструктура, системы позиционирования), нормативно-правовое (законодательная база, стандарты, процедуры сертификации) и социально-экономическое (готовность населения, экономическая целесообразность, кадровое обеспечение) [2].

Архитектура коммуникационных протоколов V2X

Современная инфраструктура беспилотного транспорта базируется на технологиях V2X, которые представляют собой комплекс протоколов обмена данными между транспортными средствами и окружающей средой, причем существуют два принципиально разных подхода к реализации этой концепции. Первый подход, известный как DSRC (Dedicated Short-Range Communications), работает на выделенной частоте 5.9 ГГц в диапазоне от 5850 до 5925 МГц и обеспечивает прямую связь между устройствами без участия базовых станций на расстояниях до трехсот-пятисот метров с задержкой передачи данных всего три-пять миллисекунд [5].

Альтернативная технология C-V2X (Cellular Vehicle-to-Everything) использует инфраструктуру сотовых сетей четвертого и пятого поколений, что позволяет передавать данные на значительно большие расстояния до полутора километров в городских условиях и более пяти километров на открытых трассах, при этом задержка в сетях 5G составляет менее десяти миллисекунд, а пропускная способность достигает десяти гигабит в секунду [13]. Принципиальное различие заключается в том, что DSRC работает по принципу ad-hoc сетей без централизованной инфраструктуры, в то время как C-V2X требует развертывания базовых станций, что создает дополнительные инфраструктурные затраты, однако обеспечивает более широкое покрытие и интеграцию с существующими сетями связи.

Российские испытания технологии V2X начались в 2018 году на базе НАМИ, где участок площадки был оснащен оборудованием стандарта ITS-G5, представляющим европейскую версию DSRC, а к 2020 году на объекте

разместилась инфраструктура C-V2X [9]. Эксперименты показали, что для обеспечения надежной работы автономных транспортных средств необходимо развертывание придорожных модулей RSU (Road Side Unit) с шагом установки каждые двести-триста метров на городских магистралях и каждые пятьсот-семьсот метров на междугородных трассах, что при средней стоимости одного модуля от двух до трех миллионов рублей создает существенную финансовую нагрузку на инфраструктурные проекты.

Эволюция исследовательской парадигмы

Анализ временной динамики публикаций выявляет четкую эволюцию исследовательских приоритетов в области беспилотного транспорта, при этом разработки в области создания БПТС начались в Японии в конце 1970-х годов, в 1987-1995 годах в Европе существовал проект «Прометей», результатом которого стало путешествие на расстояние тысячу шестьсот километров из Мюнхена в Копенгаген, а автомобили Google проехали по американским дорогам около пятисот тысяч километров, ни разу не став участниками ДТП и не нарушив правил дорожного движения [3]. Переломным моментом стало осознание научным сообществом того факта, что вопрос создания беспилотных автомобилей был поставлен еще в прошлом веке, но по-настоящему серьезные научные исследования с многомиллионными инвестициями начались только в 1980-х годах, при этом БПТС 2016 года характеризовалось как «один из самых горячих трендов современности», переходящий из области фантастики в реальность [4].

Парадигмальный сдвиг в исследованиях произошел в период формирования VI технологического уклада, когда Россия пропустила глобальный переход к V технологическому укладу и откатилась на периферию мирового технологического развития, при этом по качеству автомобильных дорог Россия занимает только сто двадцать третье место, по качеству портовой инфраструктуры – семьдесят второе, а по состоянию сети аэропортов – шестьдесят пятое место в мире согласно рейтингу глобальной конкурентоспособности Всемирного экономического форума [10]. Современный этап исследований характеризуется междисциплинарным подходом и акцентом на региональную специфику внедрения, при этом анализ восточносибирских регионов выявил практически полное отсутствие

предпосылок для внедрения беспилотного транспорта в ближайшей десятилетней перспективе, так как в стратегических документах например Иркутской области и Красноярского края термин "беспилотный транспорт" вообще не фигурирует [11].

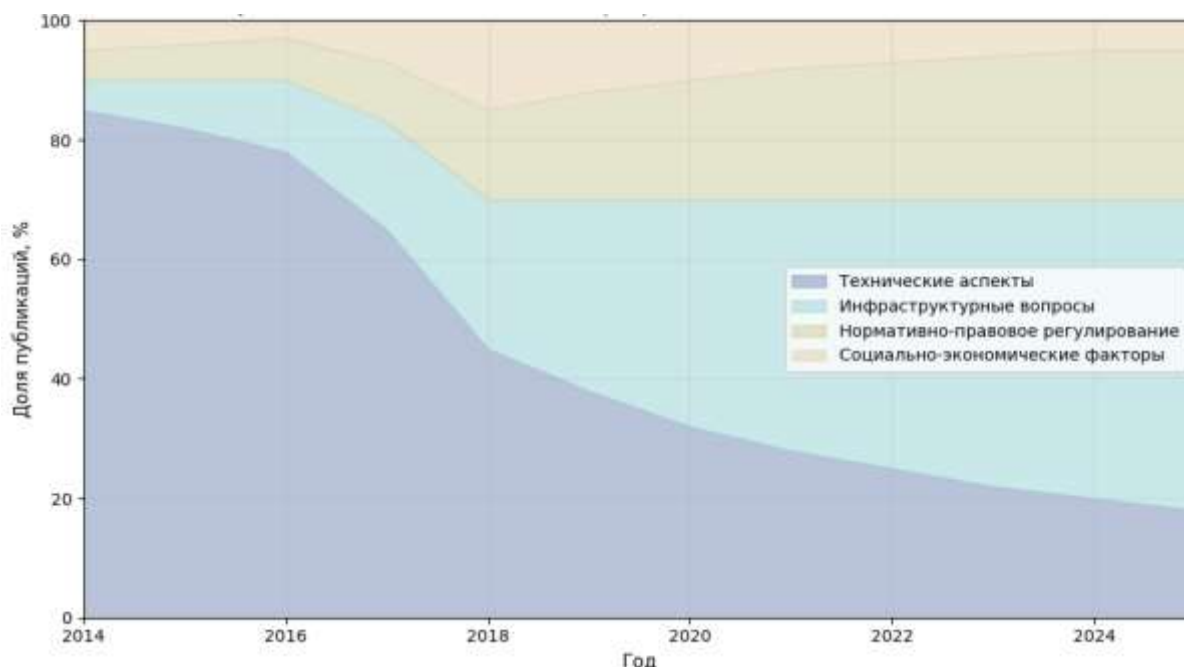


Рис. 1. Эволюция тематических приоритетов исследований БПТС (2014–2025)

Методологические подходы к оценке готовности

Систематизация методологических подходов к оценке инфраструктурной готовности к внедрению беспилотного транспорта выявляет доминирование многокритериального анализа с применением различных методов агрегирования показателей. Британские исследователи провели масштабное исследование с участием трехсот восьмидесяти одного респондента из шести групп заинтересованных сторон, включая транспортных экспертов, поставщиков транспортных услуг, студентов транспортных специальностей и представителей широкой общественности, что позволило выявить существенную вариативность в приоритетах различных стейкхолдеров. Результаты показали, что инфраструктурная готовность получает наивысший весовой коэффициент 0,41, опережая нормативно-правовую готовность с коэффициентом 0,31 и готовность граждан с коэффициентом 0,28, при этом транспортные эксперты придают наибольшее значение нормативно-правовой готовности с коэффициентом 0,44, в то время

как поставщики транспортных услуг приоритизируют готовность граждан с коэффициентом 0,41 [15].

Таблица 1

Сравнительный анализ методологических подходов к оценке инфраструктурной готовности

Методологический подход	Количество критериев	Основные преимущества	Ограничения	Частота применения, %
Многокритериальный анализ (MCDA)	15-25	Комплексность оценки, учет взаимосвязей	Субъективность весов	42
Индексный метод	8-12	Простота интерпретации, сопоставимость	Потеря информации при агрегировании	28
Матричная оценка	4-6	Визуализация результатов, выявление слабых мест	Ограниченное число факторов	18
Сценарное моделирование	20-30	Учет динамики, прогнозирование	Высокая неопределенность	12

Альтернативный подход, основанный на концепции уровней технологической готовности, адаптированной малайзийскими исследователями для беспилотных транспортных средств через два раунда полуструктурированных интервью и метод Delphi с пятью экспертами-изобретателями, предлагает девятиуровневую шкалу оценки от базовых принципов до полностью операционных систем [14]. Исследование выявило, что восемьдесят процентов участников считают критически важными процессы тестирования и валидации, шестьдесят процентов выделяют важность определений уровней готовности, технологических компонентов,

сбора данных и безопасности, в то время как вопросы интеллектуальной собственности и финансирования считают приоритетными только двадцать процентов экспертов.

Словацкие ученые разработали комплексную методологию оценки готовности физической и цифровой инфраструктуры в пяти ключевых областях: связность, локализация, машиночитаемая дорожная разметка, качество карт и обнаружение объектов, при этом для каждой области определены измеримые индикаторы с балльной системой оценки. Практическая апробация методологии на маршруте общественного транспорта в городе Жилина выявила критические проблемы с задержкой передачи данных, которая в городских условиях составляет в среднем 83 миллисекунды, а в проблемных зонах достигает тысячи пятисот миллисекунд, что существенно превышает требуемый параметр менее одной миллисекунды для критических систем безопасности.

Региональная дифференциация готовности

Анализ региональных особенностей готовности к внедрению беспилотного транспорта демонстрирует существенную пространственную неоднородность, которая проявляется не только между странами, но и внутри национальных границ, создавая уникальные вызовы для формирования единой стратегии развития. В российском контексте наиболее показательным является опыт Республики Татарстан, где с первого июля 2008 года функционирует система фотовидеофиксации, включающая к настоящему времени тысячу двести шестьдесят девять комплексов, в том числе тысячу шестьдесят восемь стационарных, сто семьдесят семь передвижных и двадцать четыре мобильных, что привело к сокращению количества погибших в дорожно-транспортных происшествиях с семисот тринадцати человек в 2008 году до трехсот двенадцати в 2021 году [2].

Город Иннополис в Республике Татарстан стал первой в России территорией, где началась системная апробация беспилотного транспорта в условиях реальной эксплуатации с участием обычных пассажиров, причем уникальность проекта заключается в том, что инфраструктура города

изначально проектировалась с учетом требований автономных транспортных средств. С 2019 года на улицах города курсируют беспилотные шаттлы КАМАЗ на базе платформы Shuttle, которые перевозят жителей и гостей по заранее определенным маршрутам со скоростью до двадцати пяти километров в час, при этом к 2023 году флот расширился до восьми единиц, а суммарный пробег превысил сто тысяч километров без участия в серьезных дорожно-транспортных происшествиях.

Инфраструктурная подготовка Иннополиса включала создание высококачественной дорожной разметки с шириной линий пятнадцать сантиметров вместо стандартных десяти, использование термопластика с коэффициентом световозвращения не менее трехсот милликанделл на квадратный метр на люкс и установку специальных дорожных знаков с QR-кодами для точной локализации транспортных средств. Полное покрытие территории сетями 4G с последующим развертыванием пилотных зон 5G обеспечивает стабильную связь между автономными транспортными средствами и центром управления, при этом задержка передачи данных не превышает двадцати миллисекунд, что близко к требуемым параметрам для безопасной эксплуатации [6].

Контрастным примером служит ситуация в Восточной Сибири, где проведенный анализ стратегических документов Иркутской области и Красноярского края выявил практически полное отсутствие предпосылок для внедрения беспилотного транспорта в ближайшей десятилетней перспективе, при этом сам термин «беспилотный транспорт» вообще не фигурирует в программах социально-экономического развития этих регионов до 2030-2036 годов [11]. Автор приходит к неутешительному выводу о том, что текущее состояние наземного и водного беспилотного транспорта в Восточной Сибири характеризуется полным отсутствием, и в перспективе десяти лет признаков появления не выявлено, при этом наиболее вероятным сценарием является внедрение беспилотных технологий на железнодорожном транспорте в виде маневровых локомотивов и пригородных перевозок, а для

автомобильного транспорта – использование в качестве технологического транспорта после 2035 года.

Столичный регион демонстрирует наиболее продвинутый уровень развития интеллектуальных транспортных систем, где на момент 2017 года функционировало более двух тысяч светофорных объектов, более двух тысяч видеокамер, более шести тысяч детекторов мониторинга, семьсот километров волоконно-оптических линий связи, десять тысяч единиц транспорта с системами ГЛОНАСС, сто шестьдесят три информационных табло и восемьсот пять комплексов фотовидеофиксации [3].

Международные сопоставления подчеркивают глубину технологического разрыва между лидерами и аутсайдерами в сфере беспилотного транспорта. Согласно международным рейтингам, Россия в 2018 году заняла восемнадцатое место из двадцати по индексу готовности к использованию беспилотных транспортных средств, получив самые низкие баллы в категориях «Технологии и инновации» и «Инфраструктура», при этом страна занимает последние строчки по количеству головных офисов компаний, занимающихся разработкой систем автономного управления транспортом, выданных патентов, объемам инвестиций и доле рынка электромобилей [7].

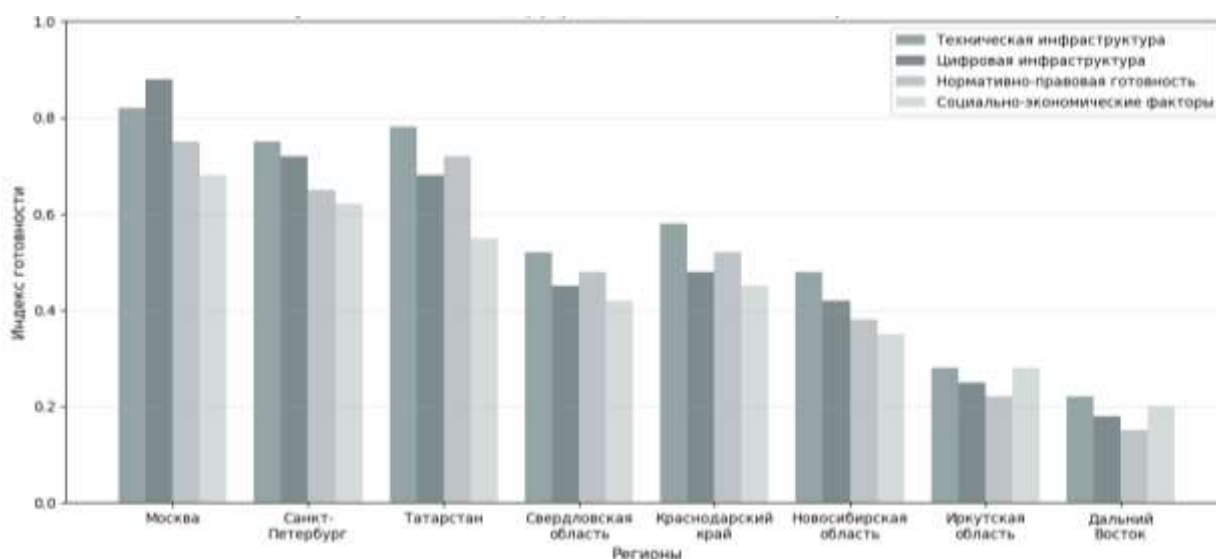


Рис. 2. Региональная дифференциация готовности к внедрению БПТС в России

Поскольку в статье анализируется готовность регионов России к внедрению беспилотного транспорта, необходимо добавить сводную таблицу (табл. 2).

Таблица 2

Оценка инфраструктурной готовности субъектов РФ к внедрению БПТС
(2024-2025)

Субъект РФ	Покрытие 5G, %	Качест во дорог*	Наличие ИТС**	Нормативная база***	Интегральный индекс готовности
Москва	45	8,2	Полная	Развитая	0,78
Санкт-Петербург	38	7,8	Частичная	Развитая	0,71
Республика Татарстан	25	7,5	Развитая	Пилотная	0,68
Московская область	32	7,1	Частичная	Базовая	0,62
Краснодарский край	18	6,8	Базовая	Базовая	0,51
Свердловская область	15	6,2	Базовая	Отсутствует	0,43
Новосибирская область	12	5,9	Начальная	Отсутствует	0,38
Иркутская область	5	4,8	Отсутствует	Отсутствует	0,22
Красноярский край	4	4,5	Отсутствует	Отсутствует	0,19
Республика Саха	2	3,9	Отсутствует	Отсутствует	0,15

*Оценка по 10-балльной шкале

**Полная/Развитая/Частичная/Базовая/Начальная/Отсутствует

***Развитая/Пилотная/Базовая/Отсутствует

Инфраструктурные требования и технологические решения

Детальный анализ инфраструктурных требований для беспилотного транспорта выявляет критическую важность цифровой составляющей, включающей жесткие требования к параметрам связи и передачи данных. Согласно исследованиям словацких ученых, для обеспечения безопасной работы систем автономного управления необходима задержка передачи данных менее одной миллисекунды для критических систем безопасности, потеря сообщений менее 0,001 процента и пропускная способность не менее одного гигабита в секунду на транспортное средство [13]. Однако реальные измерения в городских условиях показывают среднюю задержку восемьдесят три миллисекунды, что существенно превышает требуемые параметры и создает серьезные препятствия для безопасной эксплуатации автономных транспортных средств в существующей инфраструктуре.

Таблица 3

Технические требования к инфраструктуре для различных уровней автоматизации

Уровень автоматизации	Требования к разметке	Покрывт ие связи	V2X коммуникац ии	Цифров ые карты	Инвестици и, млн руб./км
SAE Level 2	Стандартн ая, износ <30%	4G, 95% покрьти я	Не требуется	Базовые	0,5-1,0
SAE Level 3	Высококонтрастная	4G/5G, 99% покрьти я	Опциональн о	HD-карты	2,0-3,5
SAE Level 4	Машиночитаемая	5G, 99,9% покрьти я	Обязательно	Динамич еские HD	5,0-8,0
SAE Level 5	Адаптивна я	5G/6G, 99,99%	Полная интеграция	Реальног о времени	10,0-15,0

Вопросы безопасности и правового регулирования

Критический анализ вопросов безопасности при внедрении беспилотного транспорта выявляет множественные угрозы, требующие комплексного подхода к их предотвращению. Исследователи выделяют четыре основные категории рисков при использовании беспилотных транспортных средств и беспилотных летательных аппаратов: умышленное использование для доставки взрывчатых веществ, технологические сбои и неисправности систем управления, человеческий фактор в виде ошибок операторов и кибератаки на системы управления [5]. Авторы подчеркивают, что увеличение количества беспилотных средств приводит к происшествиям с тяжелыми последствиями, включая столкновения с пилотируемыми самолетами, падение в скопление людей, столкновение с электрическими проводами, при этом планы обеспечения транспортной безопасности объектов транспортной инфраструктуры не содержат порядка принятия решений при актах незаконного вмешательства с использованием беспилотных средств.

Анализ нормативно-правового регулирования беспилотного транспорта демонстрирует существенное отставание законодательной базы от технологического развития, создавая правовой вакуум в критически важных областях. Формирование правового регулирования интеллектуальных транспортных систем носит фрагментарный характер, при этом отсутствует четкая детерминация понятия «ИТС», архитектура интеллектуальных транспортных систем не является «закостенелой» и трансформируется, что требует межгосударственного подхода к правовому регулированию [1]. Особую сложность представляет терминологическая неопределенность в определении уровней автоматизации транспортных средств, когда российское законодательство использует термин «беспилотное транспортное средство», который не учитывает всех уровней автоматизации по классификации SAE International и предполагает отсутствие пилота, что невозможно реализовать в существующих условиях, при этом понятие «высокоавтоматизированное транспортное средство» является более приоритетным и соответствующим международной практике.

В международной практике классификация уровней автоматизации, разработанная SAE International в 2014 году и обновленная в 2021 году, включает шесть уровней: от нулевого уровня с отсутствием автоматизации, где используются только системы ночного видения, помощи при перестроении и парковочные системы, до пятого уровня полной автоматизации, когда органы управления могут быть полностью убраны из салона транспортного средства [7]. Промежуточные уровни включают помощь водителю с адаптивным круиз-контролем и активной системой помощи движению по полосе, частичную автоматизацию с автопилотом типа Tesla и системой автоматического движения в пробках, обусловленную автоматизацию с системами Super Cruise и SARTRE, а также высокую автоматизацию, представленную беспилотными автомобилями Google и системами автономной парковки.

Таблица 4

Прогнозные инвестиционные потребности для внедрения БПТС
в России до 2035 года

Направление инвестиций	2025-2027, млрд руб.	2028-2030, млрд руб.	2031-2035, млрд руб.	Итого, млрд руб.
Цифровая инфраструктура (5G/6G)	180	320	450	950
Модернизация дорожной сети	250	380	520	1150
Системы V2X и ИТС	120	210	340	670
Центры управления и мониторинга	60	95	125	280
Подготовка кадров и R&D	40	65	85	190
Итого	650	1070	1520	3240

Концепция интеллектуальных транспортных систем, сформулированная российскими исследователями, определяет ИТС как системы, создаваемые на основе интеграции средств автоматизации контроля и управления транспортом, информационных и коммуникационных технологий, глобальных навигационных спутниковых систем, динамических геоданных и единой информационной среды в транспортную инфраструктуру, транспортные средства, ориентированные на повышение безопасности и эффективности транспортных потоков и пользователей транспорта. При этом авторы подчеркивают, что интеллектуальные системы возникли как средство преодоления ряда информационных барьеров и позволяют получать результаты, которые не могут получить информационные системы и многие человеко-машинные системы, поскольку они не только обрабатывают информацию, но решают сложные задачи в столь короткое время, которые человек принципиально решить не способен [9].

Особое внимание в современных исследованиях уделяется концепции роботизированных транспортных коридоров, которая представляет собой наиболее короткий и быстрый путь к появлению беспилотных транспортных средств на автомобильных дорогах общего пользования, являясь принципиально новой перспективной кластерной технологией, интегрирующей три из пяти якорных технологий шестого технологического уклада. Данный подход предполагает оснащение выделенных участков дорог интеллектуальной инфраструктурой V2X, что может снизить себестоимость грузовых перевозок до пятидесяти процентов за счет возможности круглосуточного движения и исключения человеческого фактора, при этом с учетом возможностей безостановочного режима движения беспилотных транспортных средств коммерческая скорость может достигать полутора и даже двух тысяч километров в сутки, что в полтора-два раза превышает целевые показатели Транспортной стратегии России для грузовых автомобильных перевозок в 2030 году [10].

Практический опыт применения беспилотных летательных аппаратов для мониторинга транспортной инфраструктуры в США демонстрирует

высокую эффективность данных технологий: согласно опросу двадцати семи департаментов транспорта штатов, девяносто шесть процентов агентств уже используют беспилотные летательные аппараты для мониторинга автомагистралей, восемьдесят восемь процентов для мостов, семьдесят три процента для водопропускных сооружений и пятьдесят процентов для пешеходной инфраструктуры [16]. При этом основными барьерами для расширения применения остаются ограниченное время работы батарей, погодные условия и регуляторные ограничения, а наиболее востребованными улучшениями респонденты считают увеличение времени полета (семьдесят девять процентов), автоматизацию операций (семьдесят три процента) и повышение точности сбора данных (пятьдесят пять процентов).

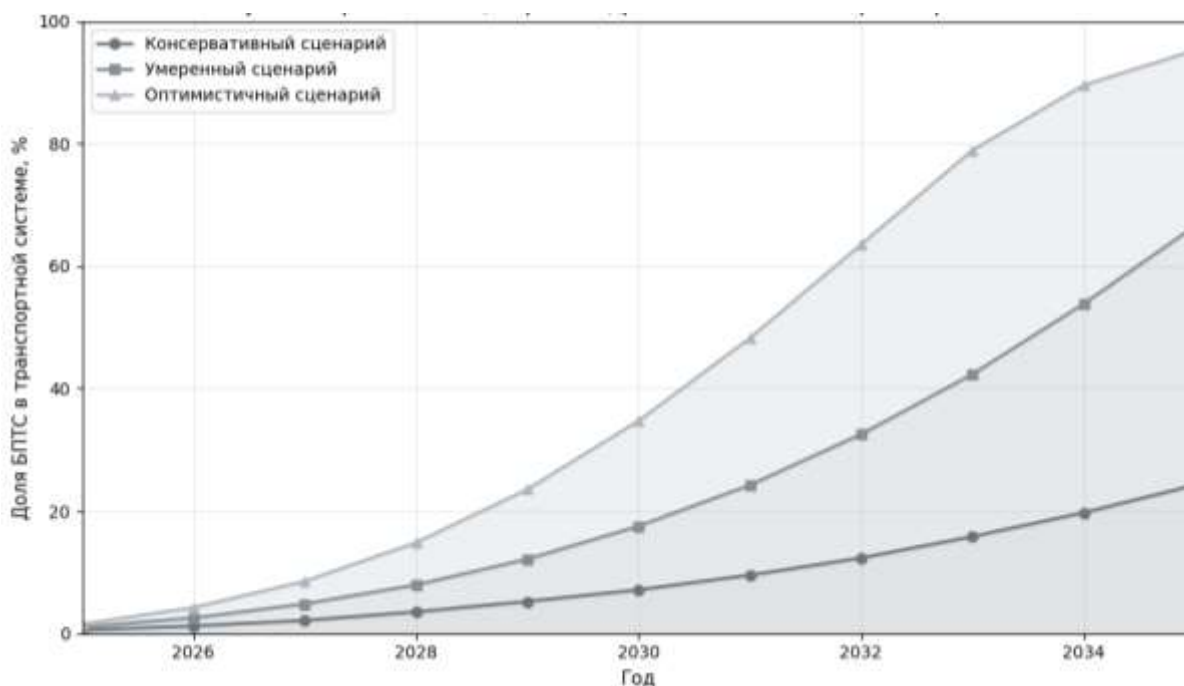


Рис. 3. Прогнозные сценарии внедрения беспилотного транспорта в России

Экономические аспекты и социальные последствия

Экономический анализ внедрения беспилотного транспорта выявляет фундаментальное противоречие между потенциальными выгодами от автоматизации и колоссальными инвестиционными потребностями в модернизацию инфраструктуры. Международный опыт демонстрирует различные масштабы инвестиций: Китай ежегодно инвестирует в транспортную инфраструктуру около восьми с половиной-девяяти процентов ВВП, что составляет порядка девятисот миллионов долларов [8]. В

российском контексте развитие беспилотного транспорта началось с проекта КАМАЗ и Cognitive Technologies в 2015 году с финансированием в триста миллионов рублей от Министерства образования и науки, при этом к 2021 году стоимость беспилотного грузового транспортного средства составляла четырнадцать с половиной миллионов рублей против семи миллионов за обычный грузовой автомобиль [11]. По информации на 2025 год, беспилотные грузовые автомобили первого поколения стоили в 2,2 раза дороже обычных сцепок, но сейчас этот коэффициент снизился до 1,8. Ожидается, что в долгосрочной перспективе коэффициент снизится до 1,1–1,2. В грузовых БПТС пятого уровня автономности не будет кабин, что позволит компенсировать затраты на дорогостоящее электронное оборудование [17].

Прогнозы развития рынка беспилотных транспортных средств, представленные аналитическим агентством IHS Automotive, предполагали начало эпохи массового производства беспилотных транспортных средств в 2025 году с достижением примерно девяти-десяти процентов мирового объема продаж к 2035 году и полным замещением обычных автомобилей роботизированными транспортными средствами в 2040-2050 годах [10]. Однако реальная динамика развития оказалась более консервативной: к 2024 году на трассе М-11 эксплуатируется сорок три беспилотных грузовых ТС с планами увеличения до ста единиц к 2025 году, при этом прогнозируется, что к 2030 году каждая десятая фура будет беспилотной, а к 2040 году более пятидесяти процентов грузоперевозок перейдут на автономные технологии [11].

Потенциальная экономическая эффективность внедрения беспилотного транспорта обусловлена несколькими факторами. Человеческий фактор является причиной восьмидесяти-девяноста процентов всех дорожно-транспортных происшествий, а кабина в грузовых ТС составляет до тридцати процентов в цене автомобиля, при этом себестоимость грузовых автоперевозок может снизиться до пятидесяти и более процентов за счет исключения расходов на оплату труда водителей, экономии горюче-смазочных материалов и возможности круглосуточной эксплуатации [10].

Социальные последствия массового внедрения беспилотного транспорта представляют серьезный вызов для государственной политики.

Правительству Российской Федерации необходимо принять меры для исключения всплеска безработицы, проинформировать население, разработать программы по переподготовке людей, занимающих рабочие места, которые в будущем могут быть сокращены, поскольку в секторе грузоперевозок занято несколько миллионов человек. Проект концепции обеспечения безопасности дорожного движения с участием беспилотных транспортных средств предусматривает подготовку широкого спектра специалистов: от специалистов транспортных ИТ-систем до специалистов по кибербезопасности высокоавтоматизированных транспортных средств, при этом важно обучать пользователей беспилотных транспортных средств, не имеющих права управления, действиям при сбое в работе или возникновении чрезвычайной ситуации, что может потребовать введения специальных аттестационных свидетельств.

Опыт внедрения интеллектуальных транспортных систем в различных регионах демонстрирует значительные положительные эффекты: рост пропускной способности дорог не менее чем на двадцать пять процентов, оптимизация использования общественного транспорта на пятьдесят процентов, увеличение грузооборота на пятьдесят-сто процентов, увеличение пассажирооборота на двадцать процентов и снижение количества дорожно-транспортных происшествий до шестидесяти процентов на отдельных участках [3]. Национальный проект «Безопасные и качественные автомобильные дороги» предусматривает к 2024 году увеличение количества стационарных камер фотовидеофиксации с девяти тысяч сорока девяти в 2017 году до девятнадцати тысяч девяноста трех, внедрение интеллектуальных транспортных систем в шестидесяти четырех городских агломерациях, оснащение ста двадцати участков федеральных дорог и шестидесяти участков региональных дорог элементами ИТС, а также внедрение ИТС для обеспечения движения беспилотных транспортных средств на пятидесяти пяти участках дорог [7].

Особого внимания заслуживает опыт применения беспилотных технологий в сельском хозяйстве, где современные технологии информационно-коммуникационных систем поддерживают автономный

непрерывный мониторинг посевов с переходом от облачных вычислений к гибриднему дизайну с акцентом на периферийные вычисления. Исследования показывают, что один беспилотный наземный робот при скорости три целых шесть десятых километра в час может осуществлять мониторинг двух целых восьми десятых гектара виноградника в день при линейном развитии пять километров на гектар, что демонстрирует высокую эффективность автоматизированных систем в специализированных применениях [12].

Результаты исследования и выводы

Проведенный систематический анализ литературных источников позволил выявить четыре основных направления исследований в области инфраструктурной готовности к внедрению беспилотных транспортных средств, каждое из которых характеризуется специфическими методологическими подходами и приоритетами.

Первое направление – технико-инфраструктурное – фокусируется на оценке физической и цифровой готовности транспортных систем. Словацкие исследователи разработали комплексную методологию оценки в пяти ключевых областях: связность, локализация, машиночитаемая дорожная разметка, качество карт и обнаружение объектов, при этом практическая апробация выявила критические проблемы с параметрами связи, когда задержка передачи данных в городских условиях составляет в среднем восемьдесят три миллисекунды вместо требуемой менее одной миллисекунды для критических систем безопасности. Американский опыт демонстрирует практическую эффективность применения беспилотных технологий для мониторинга инфраструктуры: девяносто шесть процентов из опрошенных двадцати семи департаментов транспорта штатов используют беспилотные летательные аппараты для мониторинга автомагистралей, восемьдесят восемь процентов для мостов и семьдесят три процента для водопропускных сооружений.

Второе направление – нормативно-правовое – выявляет существенное отставание законодательной базы от технологического развития. Формирование правового регулирования интеллектуальных транспортных систем носит фрагментарный характер, отсутствует четкая детерминация понятия «ИТС», архитектура интеллектуальных транспортных систем

постоянно трансформируется, что требует межгосударственного подхода к правовому регулированию. Терминологическая неопределенность усугубляется тем, что российское законодательство использует термин «беспилотное транспортное средство», не учитывающий градации уровней автоматизации по классификации SAE International, в то время как понятие «высокоавтоматизированное транспортное средство» является более приоритетным и соответствующим международной практике.

Третье направление – социально-экономическое – концентрируется на анализе инвестиционных потребностей и социальных последствий внедрения. Экономический анализ выявляет потенциальное снижение себестоимости грузовых автоперевозок до пятидесяти и более процентов за счет исключения расходов на оплату труда водителей и возможности круглосуточной эксплуатации, однако это создает риски массовой безработицы в секторе, где занято несколько миллионов человек. Международные сопоставления показывают различные масштабы инвестирования: Китай ежегодно вкладывает в транспортную инфраструктуру около восьми с половиной-девяяти процентов ВВП, что составляет порядка девятисот миллионов долларов.

Четвертое направление – технологическое – фокусируется на эволюции самих беспилотных технологий и их интеграции в существующие системы. Исследования демонстрируют переход от узкотехнических вопросов автоматизации к созданию комплексных интеллектуальных транспортных систем, которые не только обрабатывают информацию, но решают сложные задачи в столь короткое время, которые человек принципиально решить не способен. Концепция роботизированных транспортных коридоров представляет собой принципиально новую перспективную кластерную технологию, интегрирующую три из пяти якорных технологий шестого технологического уклада.

Методологический анализ подтверждает доминирование многокритериальных подходов к оценке готовности с применением весовых коэффициентов. Британское исследование с участием трехсот восьмидесяти одного респондента из шести групп заинтересованных сторон показало, что инфраструктурная готовность получает наивысший весовой коэффициент

0,41, опережая нормативно-правовую готовность с коэффициентом 0,31 и готовность граждан с коэффициентом 0,28, при этом наблюдается существенная вариативность приоритетов: транспортные эксперты придают наибольшее значение нормативно-правовой готовности с коэффициентом 0,44, в то время как поставщики транспортных услуг приоритизируют готовность граждан с коэффициентом 0,41. Малайзийские исследователи через два раунда полуструктурированных интервью и метод Delphi с пятью экспертами-изобретателями разработали девятиуровневую шкалу оценки технологической готовности, где восемьдесят процентов участников считают критически важными процессы тестирования и валидации.

Выводы

Несмотря на значительный прогресс в технологиях беспилотного транспорта, достигший уровня, когда автомобили Google проехали по американским дорогам около пятисот тысяч километров без участия в ДТП, инфраструктурная готовность остается критическим барьером для массового внедрения. Россия еще не готова к появлению беспилотных транспортных средств, необходимо выполнить огромный объем работы по обустройству транспортной инфраструктуры интеллектуальных транспортных систем, что потребует колоссальных финансовых вложений.

Критически важным является переход от технократического к комплексному междисциплинарному подходу, интегрирующему все четыре выявленных направления исследований. Сценарий догоняющего развития либо заведомо бесперспективен, либо финансово неподъемен для экономики Российской Федерации в текущих условиях, поэтому предлагается стратегия точечного опережающего развития через создание роботизированных транспортных коридоров на выделенных участках магистральных трасс. Дифференцированные стратегии для различных регионов должны учитывать существующий уровень развития инфраструктуры, экономические возможности и социальную готовность к технологическим изменениям, обеспечивая постепенную интеграцию беспилотных технологий в транспортные системы с минимизацией социальных рисков и максимизацией экономической эффективности.

Список источников

1. Бажина, М. А. Интеллектуальные транспортные системы - основа de lege ferenda транспортной системы Российской Федерации / М. А. Бажина // Journal of Digital Technologies and Law. – 2023. – Т. 1, № 3. – С. 630-649. – DOI 10.21202/jdtl.2023.27. – EDN VBOWTV.
2. Габдурахманов, Л. Р. Интеллектуальные транспортные системы - современная концепция обеспечения безопасности дорожного движения / Л. Р. Габдурахманов, Р. Н. Минниханов, Р. Ф. Тинчурин // Научный портал МВД России. – 2022. – № 1(57). – С. 41-50. – EDN JMKGWQ.
3. Галенко, Л. А. Интеллектуальные транспортные системы - решение транспортных проблем / Л. А. Галенко, Р. В. Николаева // Техника и технология транспорта. – 2017. – № 3(4). – С. 12. – EDN ZIDZOT.
4. Грошев, А. М. Беспилотные транспортные средства: настоящее и будущее / А. М. Грошев, А. В. Тумасов // Транспортные системы. – 2016. – № 2. – С. 68-83. – DOI 10.46960/62045_2016_2_68. – EDN XBWNVT.
5. Зайкова, С. Н. Беспилотные транспортные средства (аппараты) как угроза транспортной безопасности / С. Н. Зайкова, Д. Д. Виноградский // Вестник Саратовской государственной юридической академии. – 2024. – № 1(156). – С. 89-95. – DOI 10.24412/2227-7315-2024-1-89-95. – EDN CCOEVR.
6. Ишкинеева, Ф. Ф. Образ "умного города" Иннополис: концепты и повседневность / Ф. Ф. Ишкинеева, К. А. Озерова, Г. Ф. Ишкинеева // Вестник Института социологии. – 2021. – Т. 12, № 2. – С. 143-157. – DOI 10.19181/vis.2021.12.2.719. – EDN НКYRKZ.
7. Косицын, Е. П. Беспилотные транспортные средства / Е. П. Косицын // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. – 2019. – № 1-3. – С. 158-162. – EDN CPJGMH.
8. Маймакова, Л. В. Современные тенденции развития транспортно-логистической инфраструктуры / Л. В. Маймакова, И. И. Зайнеева, А. Э. Зималиева // Естественно-гуманитарные исследования. – 2024. – № 5(55). – С. 206-210. – EDN NYIBDU.
9. Маркелов, В. М. Интеллектуальные транспортные системы как инструмент управления / В. М. Маркелов, И. В. Соловьев, В. Я. Цветков // Государственный советник. – 2014. – № 3(7). – С. 42-49. – EDN SQYТИТ.
10. Носов, А. Г. Экономические и инфраструктурные аспекты развития технологий беспилотного транспорта / А. Г. Носов // Транспорт Российской Федерации. – 2016. – № 5(66). – С. 21-25. – EDN WZJSTB.
11. Силантьев, А. В. Перспективы развития наземного и водного беспилотного транспорта в транспортно-логистической системе Восточной Сибири / А. В. Силантьев // Журнал прикладных исследований. – 2025. – № 8. – С. 139-145. – DOI 10.47576/2949-1878.2025.8.8.017. – EDN YQCCNI.
12. Unmanned Ground Vehicles for Continuous Crop Monitoring in Agriculture: Assessing the Readiness of Current ICT Technology / M. Agelli, N. Corona, F. Maggio, P. V. Moi //

Machines. – 2024. – Vol. 12, No. 11. – P. 750. – DOI 10.3390/machines12110750. – EDN YIOTUP.

13. Physical and Digital Infrastructure Readiness Index for Connected and Automated Vehicles / B. Cucor, T. Petrov, P. Kamencay [et al.] // *Sensors*. – 2022. – Vol. 22, No. 19. – P. 7315. – DOI 10.3390/s22197315. – EDN NHBQEP.

14. Technology Readiness level: advancing locally made unmanned vehicles / A. Abd Jamil, M. A. Sarijari, R. A Rashid [et al.] // *MALAYSIAN JOURNAL OF COMPUTING*. – 2025. – Vol. 9, No. 2. – P. 1824-1837. – DOI 10.24191/mjoc.v9i2.26551. – EDN NFECWJ.

15. Jiang, L. City readiness for connected and autonomous vehicles: A multi-stakeholder and multi-criteria analysis through analytic hierarchy process / L. Jiang, H. Chen, Zh. Chen // *Transport Policy*. – 2022. – Vol. 128. – P. 13-24. – DOI 10.1016/j.tranpol.2022.09.012. – EDN ZJFOIW.

16. Zaman, A. A. Uz. Applications of UAV Technologies in Assessment of Transportation Infrastructure Systems / A. A. Uz. Zaman, A. Abdelaty, M. S. Yamany // *CivilEng*. – 2025. – Vol. 6, No. 2. – P. 32. – DOI 10.3390/civileng6020032. – EDN GEMMCG.

17. Стало известно, сколько будут стоить беспилотные фуры и насколько они снизят себестоимость перевозок // *Дзен – АТИ, Центр: система грузоперевозок*. – URL: <https://zen.ati.su/news/2025/11/06/stalo-izvestno-skolko-budut-stoit-bespilotnye-fury-i-naskolko-oni-snizjat-sebestoimost-perevozk-288305/> (дата обращения: 05.12.2025).

References

1. Bazhina M.A. *Journal of Digital Technologies and Law*, 2023, vol. 1, no. 3, pp. 630-649, doi 10.21202/jdtl.2023.27.

2. Gabdurakhmanov L.R., Minnikhanov R.N., Tinchurin R.F. *Nauchnyy portal MVD Rossii*, 2022, no. 1(57), pp. 41-50.

3. Galenko L.A., Nikolayeva R.V. *Tekhnika i tekhnologiya transporta*, 2017, no. 3(4), pp. 12.

4. Groshev A.M., Tumasov A.V. *Transportnyye sistemy*, 2016, no. 2, pp. 68-83, doi 10.46960/62045_2016_2_68.

5. Zaykova S.N., Vinogradskiy D. D. *Vestnik Saratovskoy gosudarstvennoy yuridicheskoy akademii*, 2024, no. 1(156), pp. 89-95, doi 10.24412/2227-7315-2024-1-89-95.

6. Ishkineyeva F.F. Ozerova K. A., Ishkineyeva G.F. *Vestnik Instituta sotsiologii*, 2021, vol. 12, no. 2, pp. 143-157, doi 10.19181/vis.2021.12.2.719.

7. Kositsyn Ye.P. *Dal'niy Vostok: problemy razvitiya arkhitekturno-stroitel'nogo kompleksa*, 2019, no. 1-3, pp. 158-162.

8. Maymakova L.V., Zayneyeva I.I., Zimaliyeva A.E. *Yestestvenno-gumanitarnyye issledovaniya*, 2024, no. 5(55), pp. 206-210.

9. Markelov V.M., Solov'yev I. V., Tsvetkov V.Ya. *Gosudarstvennyy sovetnik*, 2014, no. 3(7), pp. 42-49.

10. Nosov A.G. *Transport Rossiyskoy Federatsii*, 2016, no. 5(66), pp. 21-25.

11. Silant'yev A.V. *Zhurnal prikladnykh issledovaniy*, 2025, no. 8, pp. 139-145, doi 10.47576/2949-1878.2025.8.8.017.

12. Agelli M., Corona N., Maggio F., Moi P.V. Unmanned Ground Vehicles for Continuous Crop Monitoring in Agriculture: Assessing the Readiness of Current ICT Technology, *Machines*, 2024, vol. 12, no. 11, p. 750, doi 10.3390/machines12110750.
13. Cucor B., Petrov T., Kamencay P., Pourhashem G., Dado M. Physical and Digital Infrastructure Readiness Index for Connected and Automated Vehicles, *Sensors*, 2022, vol. 22, no. 19, p. 7315, doi 10.3390/s22197315.
14. Jamil A.A., Sarijari M.A., Rashid R.A., Pusppanathan J., Ismail K., Shamsir M.S. Technology Readiness level: advancing locally made unmanned vehicles, *MALAYSIAN JOURNAL OF COMPUTING*, 2025, vol. 9, no. 2, pp. 1824-1837, doi 10.24191/mjoc.v9i2.26551.
15. Jiang L., Chen H., Chen Z. City readiness for connected and autonomous vehicles: A multi-stakeholder and multi-criteria analysis through analytic hierarchy process, *Transport Policy*, 2022, vol. 128, pp. 13-24, doi 10.1016/j.tranpol.2022.09.012.
16. Zaman A.A.Uz., Abdelaty A., Yamany M.S. Applications of UAV Technologies in Assessment of Transportation Infrastructure Systems, *CivilEng*, 2025, vol. 6, no. 2, p. 32, doi 10.3390/civileng6020032.
17. Stalo izvestno, skol'ko budut stoit' bespilotnyye fury i naskol'ko oni snizyat sebestoimost' perevozok, Dzen – ATI, Tsentr: sistema gruzoperevozok, available at: <https://zen.ati.su/news/2025/11/06/stalo-izvestno-skolko-budut-stoit-bespilotnye-fury-i-naskolko-oni-snizjat-sebestoimost-perevozok-288305/> (05.12.2025).

Рецензент: С.Н. Сатышев, канд. техн. наук, доц., МАДИ

Информация об авторах

Гасанов Руслан Микаилович, аспирант кафедры «Логистика», МАДИ.

Енин Дмитрий Владимирович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Логистика», МАДИ.

Information about the authors

Gasanov Ruslan M., Postgraduate Student of the Department of Logistics, MADI.

Enin Dmitry V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Department of Logistics, MADI.

Статья поступила в редакцию 24.03.2026; одобрена после рецензирования 27.03.2026; принята к публикации 31.03.2026.

The article was submitted 24.03.2026; approved after reviewing 27.03.2026; accepted for publication 31.03.2026.