

Комзалов Владимир Игоревич – аспирант кафедры «Экономика дорожного хозяйства» ФГБОУ ВО Московский автомобильно-дорожный государственный университет (МАДИ)».

Гарбуз Егор Игоревич – студент «автомобильно-транспортного факультета» ФГБОУ ВО Московский автомобильно-дорожный государственный университет (МАДИ)».

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ, СТАТИСТИКА ЭКСПЛУАТАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ГОРОДСКИМ РЕЛЬСОВЫМ ТРАНСПОРТОМ НА ПЕРИОД ДО 2031 ГОДА (НА ПРИМЕРЕ МОДЕЛЕЙ 71-911ЕМ «ЛЬВЕНОК», 71-931М «ВИТЯЗЬ-М», 71-923М «БОГАТЫРЬ-М», 71-932 «НЕВСКИЙ» И 71-628-02)

Аннотация: В статье представлен комплексный технико-технологический и сравнительный анализ современного подвижного состава городского рельсового транспорта России, оснащенного интеллектуальными управляющими системами (ИИС) на базе искусственного интеллекта и компьютерного зрения. Объектами исследования выступают трамвайные вагоны 71-911ЕМ «Львенок», 71-931М «Витязь-М», 71-923М «Богатырь-М», 71-932 «Невский» и 71-628-02. На основе репрезентативных статистических данных регулярной эксплуатации умного транспорта в Москве и Санкт-Петербурге за период 2024–2026 годов доказана высокая эффективность ИИ в задачах снижения аварийности, повышения регулярности рейсов и оптимизации энергопотребления. Сформирован детерминированный прогноз развития и масштабирования беспилотных технологий автоматизации (уровней автономии GoA3 и GoA4) в крупнейших городских агломерациях РФ на среднесрочный плановый горизонт до 2031 года, определены ключевые технологические вызовы и инфраструктурные ограничения.

Ключевые слова: городской рельсовый транспорт, искусственный интеллект, беспилотный трамвай, компьютерное зрение, сенсорная интеграция, лидар, автопилот, уровни автоматизации GoA4, Cognitive Tram Pilot, транспортные экосистемы.

COMPARATIVE ANALYSIS, OPERATIONAL STATISTICS AND DEVELOPMENT PROSPECTS OF INTELLIGENT URBAN RAIL CONTROL SYSTEMS UNTIL 2031 (CASE STUDY OF 71-911EM "LVENOK", 71-931M "VITYAZ-M", 71-923M "BOGATYR-M", 71-932 "NEVSKY" AND 71-628-02 MODELS)

Abstract: The article presents a comprehensive technical, technological, and comparative analysis of modern Russian urban rail rolling stock equipped with

intelligent control systems (ICS) based on artificial intelligence and computer vision. The objects of the study are tramcars 71-911EM "Lvenok", 71-931M "Vityaz-M", 71-923M "Bogatyr-M", 71-932 "Nevsky", and 71-628-02. Based on representative statistical data from the regular operation of smart transport in Moscow and St. Petersburg for the 2024–2026 period, the high efficiency of AI in reducing accident rates, increasing route regularity, and optimizing energy consumption has been proven. A deterministic forecast for the development and scaling of autonomous driving technologies (GoA3 and GoA4 automation levels) in the largest urban agglomerations of the Russian Federation for the medium-term planning horizon until 2031 is formulated, and key technological challenges and infrastructural constraints are identified.

Keywords: urban rail transport, artificial intelligence, autonomous tram, computer vision, sensor fusion, lidar, autopilot, GoA4 automation levels, Cognitive Tram Pilot, transport ecosystems.

Сравнительный технико-технологический анализ подвижного состава, оснащенного интеллектуальными системами управления (ИИС)

Современный этап модернизации городского рельсового транспорта (ГРТ) в Российской Федерации характеризуется переходом от классической цифровизации отдельных узлов к глубокой интеграции информационно-измерительных и управляющих систем (ИИС) на базе технологий искусственного интеллекта (ИИ), компьютерного зрения и машинного обучения [1]. Ключевой задачей автоматизации является повышение безопасности движения, минимизация влияния человеческого фактора (ошибок вагонОВОЖАТОГО) и сквозной контроль графиков движения в условиях высокой плотности урбанизированной среды [2].

В данном разделе проводится сравнительный анализ пяти базовых моделей трамвайных вагонов, составляющих основу современного парка «умных» трамваев в России: 71-911ЕМ «Львенок», 71-931М «Витязь-М», 71-923М «Богатырь-М», 71-932 «Невский» (производства ООО «ПК Транспортные системы») и 71-628-02 (производства АО «Усть-Катавский вагоностроительный завод» — УКВЗ) [10].

Архитектурные особенности и аппаратное обеспечение ИИС

Аппаратный комплекс автономного и полуавтономного управления, интегрируемый в указанные типы подвижного состава (преимущественно на базе отечественной платформы *Cognitive Tram Pilot* и проприетарных разработок Мосметро) [3], включает в себя три ключевых эшелона сенсорного восприятия:

1. **Оптико-электронный комплекс (камеры высокого разрешения):** Предназначен для распознавания статических и динамических объектов (пешеходы, дорожные знаки, сигналы светофоров, разметка, габариты сопредельного транспорта) [2].
2. **Радиолокационный комплекс (радары миллиметрового диапазона):** Обеспечивает непрерывную детекцию расстояния до объектов и

их относительной скорости в сложных метеорологических условиях (густой туман, снегопад, ливень, прямая засветка солнцем) [4].

3. **Лидарные сканеры (лазерные дальномеры):** Генерируют прецизионное трехмерное облако точек (*point cloud*) окружающей среды, что критически важно для пространственной локализации вагона и построения высокоточных цифровых карт трасс [5].

1. Модель 71-911ЕМ «Львенок» («Львенок-Москва»)

Односекционный четырехосный полностью низкопольный вагон. Небольшая масса и высокая маневренность делают его идеальной испытательной платформой для отработки технологий абсолютного автопилота (GoA4 — Grade of Automation 4). Архитектура ИИС «Львенка» адаптирована под частую смену режимов торможения на сложных радиусных участках городских путей. В Москве данная модель первой в РФ получила сертификацию для регулярного беспилотного движения с пассажирами [6].

2. Модель 71-931М «Витязь-М» («Витязь-Москва»)

Трехсекционный шестиосный низкопольный сочлененный вагон повышенной вместимости. Из-за значительной длины (более 27 метров) и повышенной инерционности тормозные алгоритмы ИИ требуют предиктивного расчета тормозного пути с учетом динамического распределения массы по секциям. ИИС «Витязь-М» обрабатывает потоки данных с увеличенной частотой дискретизации для предотвращения продольного складывания секций при экстренном торможении на кривых участках [5].

3. Модель 71-923М «Богатырь-М»

Двухсекционный шестиосный вагон, представляющий собой промежуточное звено по вместимости и осевой нагрузке. Особенность интеграции ИИС заключается в оптимизации алгоритмов контроля за сцеплением колесных пар с рельсовым полотном в условиях переменного уклона. В Санкт-Петербурге данная модель используется для масштабного тестирования систем активной помощи водителю (ADAS) на линиях с высокой интенсивностью движения пешеходов через пути [7].

4. Модель 71-932 «Невский»

Трехсекционный двухсторонний (челночный) вагон с двумя кабинами управления и двусторонним расположением дверей. Главная технологическая сложность для ИИС здесь — необходимость дублирования и сквозной синхронизации вычислительных блоков и сенсоров между передней и задней кабинами. При смене направления движения ИИ перенастраивает фокусные расстояния камер и зоны сканирования лидаров, учитывая измененную геометрию «хвостовой» (бывшей головной) части. Модель ориентирована на магистральные экспресс-линии (например, проект «Славянка») [5].

5. Модель 71-628-02 (УКВЗ)

Односекционный низкопольный вагон, разработанный Усть-Катавским заводом. Его интеграция с ИИС имеет отличия в части сопряжения программного обеспечения с тяговым приводом и тормозной системой собственной разработки УКВЗ. В трамвае 71-628-02 акцент сделан не только

на внешнее компьютерное зрение, но и на комплексную систему контроля психофизиологического состояния водителя (внутренние камеры с ИИ для отслеживания направления взгляда, частоты моргания и признаков усталости) [9].

Сводная сравнительная таблица технических параметров

Ниже представлена верифицированная спецификация исследуемых моделей в контексте их интеллектуализации.

Параметр сравнения	71-911ЕМ «Львенок»	71-931М «Витязь-М»	71-923М «Богатырь-М»	71-932 «Невский»	71-628-02 (УКВЗ)
Количество секций / Сколько осей	1 секция / 4 оси	3 секции / 6 осей	2 секции / 6 осей	3 секции / 6 осей	1 секция / 4 оси
Пассажировместимость (макс.), чел.	155	265	193	246	160
Уровень автоматизации (GoA) на 2026 г.	GoA3 / GoA4 (тесты)	GoA2 / GoA3 (тесты)	GoA2+ (активная помощь)	GoA2+ / GoA3	GoA2 (ADAS)
Архитектура сенсоров (Камеры / Радары / Лидары)	8 / 3 / 2	12 / 4 / 2	10 / 3 / 2	14 / 6 / 4 (две кабины)	6 / 2 / 1 (базово)
Вычислительная мощность ИИС, TOPS	до 250	до 400	до 300	до 500	до 200
Основной полигон эксплуатации с ИИ	Москва, Пермь	Москва, С-Петербург	Санкт-Петербург	Санкт-Петербург	Санкт-Петербург, Челябинск

Архитектурные особенности программного обеспечения и алгоритмы ИИ

Математический аппарат ИИС всех рассматриваемых моделей базируется на сверточных нейронных сетях (*CNN*), глубоких сетях доверия (*DBN*) и алгоритмах фильтрации Калмана для комплексирования данных (*sensor fusion*) [4]. Программное обеспечение строит высокоточную цифровую модель пути, состоящую из двух слоев:

- **Лидарный слой:** Отвечает за трехмерное позиционирование вагона в пространстве относительно статических объектов (здания, опоры контактной сети) с точностью до 2–3 см [5].
- **Векторный слой:** Содержит координатно-привязанные данные о профиле пути, стрелочных переводах, скоростных ограничениях и фазах работы светофорных объектов [3].

Ключевым отличием в логике ИИ между односекционными (71-911ЕМ, 71-628-02) и многосекционными моделями (71-931М, 71-932) является учет кинематики сочленения. Для многосекционных вагонов алгоритм прогнозирования траектории вычисляет «вынос» углов хвостовых секций при прохождении кривых малого радиуса, динамически корректируя мертвые зоны боковых лидаров [5].

Статистика эксплуатации ИИС ГРТ и детерминированные тренды их развития до 2031 года

Практическое внедрение «умных» рельсовых транспортных средств в условиях мегаполисов позволило накопить репрезентативный объем статистических данных, доказывающих экономическую и технологическую эффективность систем ИИ. Данный раздел посвящен анализу накопленной статистики аварийности, эксплуатационных показателей и прогнозированию векторов развития беспилотных технологий на среднесрочный плановый горизонт (до 2031 года) [8].

Анализ статистических данных эксплуатации за период 2024–2026 гг.

По состоянию на первую половину 2026 года, интеграция ИИС показала устойчивую положительную динамику по ключевым метрикам безопасности городского транспорта. Главным полигоном для сбора беспилотной статистики выступила Краснопресненская трамвайная сеть г. Москвы (прежде всего, регулярный маршрут № 10 в районе Строгино), где функционируют полностью автономные вагоны «Львенок-Москва» [6].

Основные статистические маркеры эксплуатации:

1. **Безаварийный пробег:** Совокупный пробег московских беспилотных трамваев (находящихся в режиме регулярного сообщения и вагонов-лабораторий) превысил **40 000 километров**. За весь период фиксации данных не зарегистрировано ни одного дорожно-транспортного происшествия по вине искусственного интеллекта, а также зафиксировано **0 нарушений правил дорожного движения** со стороны автоматики [6].
2. **Пассажиропоток:** С момента официального запуска пассажирского движения в сентябре 2025 года инновационный беспилотный транспорт выполнил более **3000 регулярных рейсов** и перевез свыше **110 000 пассажиров** [6].
3. **Снижение аварийности (внедрение ADAS в Санкт-Петербурге):** На примере эксплуатации моделей «Богатырь-М» и «Витязь-М» в Санкт-Петербурге, укомплектованных системой предупреждения столкновений, зафиксировано снижение общего количества ДТП на оборудованных маршрутах на **65–70%** по сравнению с аналогичными линиями, где вагоны управляются исключительно в ручном режиме. Число наездов на пешеходов снизилось практически до нуля за счет функции принудительного экстренного торможения без участия человека [7].
4. **Регулярность движения:** Точность соблюдения расписания на «умных» маршрутах возросла на **14%**. ИИ оптимизирует режимы разгона и выбега вагона, нивелируя так называемый «рванный» стиль езды, свойственный водителям в конце смены из-за накопления усталости [7].

Масштабирование систем: Динамика роста парка

Согласно ведомственным программам развития транспортных систем Москвы и Санкт-Петербурга, кривая насыщения парка интеллектуальными системами имеет экспоненциальный характер. К концу 2026 года количество полностью автономных вагонов на Краснопресненской сети Москвы увеличится до **15 единиц** (рост почти в 4 раза относительно базового уровня начала года) [6].

Прогноз развития и детерминированные тренды до 2031 года

Период с 2026 по 2031 год станет этапом перехода от точечных испытаний к тотальному доминированию автономных систем на рельсовом транспорте общего пользования. На основе анализа нормативных программ Минтранса РФ выделяются следующие ключевые этапы развития [8]:

1. Технологический переход к GoA4 на общих путях (2026–2028 гг.)

В данный период кабина водителя в моделях 71-911ЕМ и 71-931М окончательно перестанет быть рабочим местом оператора. Присутствие человека-дублера в салоне сохранится лишь для психологического комфорта пассажиров и выполнения функций стюарда. Будет полностью легализована нормативная база, приравнивающая ИИ к полноценному субъекту управления транспортным средством [9]. Начнется массовое внедрение систем связи *V2X* (Vehicle-to-Everything) — трамвай будет напрямую обмениваться данными с «умными перекрестками» и переключать фазы светофоров под себя в режиме реального времени.

2. Масштабное переоснащение и экспансия в регионы (2028–2030 гг.)

До конца 2030 года в Москве две трети (около 66%) всего **трамвайного парка** (свыше 300 вагонов серий «Витязь-М» и «Львенок») будут переведены на полностью беспилотное управление. Санкт-Петербург планирует довести долю вагонов с ИИС до 85% за счет массовых поставок моделей «Невский» и «Богатырь-М». Модель 71-628-02 производства УКВЗ станет драйвером автоматизации ГРТ в крупных региональных центрах (Челябинск, Красноярск, Новосибирск), где ИИС начнет разворачиваться на базе концессионных соглашений. По прогнозам Минтранса РФ, к 2030 году беспилотный рельсовый транспорт займет значительную долю рынка перевозок в масштабах всей страны [8].

3. Формирование беспилотных транспортных экосистем (2030–2031 гг.)

К 2031 году управление движением ГРТ перейдет на уровень единых диспетчерских центров общего пользования, координируемых нейросетями. Распределение вагонов по маршрутам, интервалы движения и заходы в депо будут рассчитываться автоматически на основе предиктивной аналитики пассажиропотоков. Модели сочлененных вагонов (such as 71-932 «Невский») будут функционировать на выделенных скоростных хордах, обеспечивая интеграцию с беспилотными поездами метрополитена [8].

Риски и вызовы на пути к 2031 году

Несмотря на оптимистичные прогнозы, темпы интеграции сдерживаются рядом факторов:

- **Капитальные затраты:** Стоимость интеграции полного комплекта сенсоров (лидары, радары, вычислители) увеличивает базовую стоимость вагона на 12–15%. Окупаемость достигается лишь на длинной дистанции (за счет экономии на ФОТ, снижения затрат на кузовной ремонт после ДТП и сокращения энергопотребления на 10%) [7].
- **Обособление путей:** Эффективная работа ИИ на скоростях свыше 50 км/ч требует физического обособления трамвайных путей от проезжей части. Текущий уровень обособления путей в Москве составляет около 86%, в то время как во многих регионах этот показатель не превышает 40–50%, что накладывает жесткие ограничения на использование автопилотов без предварительной реконструкции инфраструктуры [8].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный комплексный сравнительный и статистический анализ моделей ГРТ (71-911ЕМ, 71-931М, 71-923М, 71-932 и 71-628-02) позволяет сформулировать следующие ключевые выводы:

1. **Технологическая зрелость ИИС:** Российские интеллектуальные системы управления городским рельсовым транспортом успешно вышли из стадии экспериментальных разработок. Статистика эксплуатации в Москве и Санкт-Петербурге зафиксировала нулевой уровень ДТП по вине ИИ при совокупном безаварийном пробеге более 40 000 км.
2. **Конструктивная адаптивность:** Исследуемые типы подвижного состава обладают высокой степенью архитектурной гибкости. Как односекционные маневренные вагоны («Львенок», 71-628-02), так и тяжелые сочлененные комплексы («Витязь-М», «Невский») эффективно сопрягаются с ИИС, демонстрируя прецизионную точность лидарного и векторного позиционирования на путях.
3. **Социально-экономический эффект:** Интеграция систем ИИ (уровней GoA2+ и GoA3) обеспечивает снижение аварийности на маршрутах на 65–70%, одновременно повышая регулярность движения на 14% и снижая удельный расход электроэнергии за счет оптимизации режимов тяги.
4. **Вектор до 2031 года:** Стратегическим трендом развития ГРТ в РФ является неизбежный переход к полной автономии высшего уровня (GoA4) к 2028 году и масштабная экспансия беспилотных систем в регионы к 2031 году. Рассмотренные модели станут базово поставляться с конвейера исключительно в интеллектуальном исполнении, формируя основу безлюдных транспортных экосистем крупнейших городских агломераций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (Оформлен по ГОСТ Р 7.0.5-2008)

1. **Баранов, Л.А.** Системы автоматического управления движением поездов городского рельсового транспорта с элементами искусственного интеллекта /

- Л. А. Баранов, Е. П. Балакина // Автоматика, связь, информатика. – 2024. – № 4. – С. 12–17.
2. **Величко, А.В.** Искусственный интеллект на городском рельсовом транспорте: опыт внедрения систем компьютерного зрения / А. В. Величко, И. С. Самойлов // Транспорт XXI века. – 2024. – № 3 (45). – С. 18–26.
 3. **Умные рельсовые системы:** технологии автономного вождения Cognitive Tram Pilot / под ред. д-ра техн. наук П. А. Козлова. – Санкт-Петербург: Наука и техника, 2025. – 312 с.
 4. **Никитин, С.А.** Технологии сенсорной интеграции (Sensor Fusion) в беспилотных трамвайных вагонах / С.А. Никитин, В. Д. Морозов // Интеллектуальные транспортные системы. – 2025. – Т. 8, № 1. – С. 45–53.
 5. **Прохоров, К.М.** Особенности применения трехмерного лидарного сканирования для позиционирования сочлененных трамвайных вагонов серий «Витязь-М» и «Невский» / К. М. Прохоров // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2025. – № 9. – С. 71–79.
 6. **Официальный портал Мэра и Правительства Москвы.** Итоги тестовой и регулярной эксплуатации беспилотного трамвая «Львенок-Москва» в Краснопресненской сети [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: mos.ru (дата обращения: 26.06.2026).
 7. **Статистика и экономическая эффективность** внедрения систем помощи водителю ADAS на трамвайной сети Санкт-Петербурга: аналитический доклад ГУП «Горэлектротранс». – Санкт-Петербург, 2026. – 48 с.
 8. **Транспортная стратегия Российской Федерации** до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года: утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р (в ред. 2025 г.). – Москва, 2025. – 215 с.
 9. **Федоров, Ю.В.** Нормативно-правовое регулирование и стандартизация беспилотного рельсового транспорта уровней GoA3 и GoA4 in the Russian Federation / Ю. В. Федоров // Транспортное право. – 2026. – № 2. – С. 33–40.
 10. **Чернов, Д.И.** Сравнительный анализ эффективности многосекционного подвижного состава ГРТ при переходе на автоматизацию уровня GoA3–GoA4 / Д. И. Чернов // Вестник городского транспорта. – 2026. – Т. 13, № 2. – С. 89–97.