

УДК 004.896

## Повышение безопасности движения трамваев за счет применения системы обеспечения активной безопасности и помощи водителю

**А. А. Воробьев, А. М. Перепеченов, В. Г. Кондратенко, Н. К. Мигулин**

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Россия, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

**Для цитирования:** Воробьев А. А., Перепеченов А. М., Кондратенко В. Г., Мигулин Н. К. Повышение безопасности движения трамваев за счет применения системы активной безопасности и помощи водителю // Бюллетень результатов научных исследований. 2026. Вып. 2. С. 53–64. DOI: 10.20295/2223-9987-2026-2-53-64

### Аннотация

**Цель:** в статье исследована целесообразность применения системы обеспечения активной безопасности и помощи водителю (АБПВ) на городском трамвае. **Методы:** анализ материалов предприятия-изготовителя и опыта применения перевозчиком системы Cognitive Tram Pilot на подвижном составе трамвая в Санкт-Петербурге. **Результаты:** применение данной системы уменьшило число сходов трамваев, падения пассажиров, наездов на пешеходов и ДТП с автомобилями. **Практическая значимость:** можно рекомендовать установку данной системы на весь подвижной состав ГУП «Горэлектротранс» для повышения безопасности движения и эффективности перевозок, а в перспективе для перехода к беспилотной работе трамваев.

**Ключевые слова:** рост городов, увеличение заторов на дорогах, ухудшение экологии, трамвайный транспорт, система активной безопасности и помощи водителю, предотвращение ДТП, повышение безопасности движения и эффективности, беспилотный трамвай

Комфортная городская среда — неременное условие успешного развития любого большого города. Общественный транспорт является неотъемлемым важным элементом городской инфраструктуры, которым ежедневно пользуется бóльшая часть жителей. Быстрый рост городов усиливает проблему автомобильных пробок на дорогах, ухудшает экологию, и только активное применение общественного транспорта может стать эффективным способом передвижения.

Трамвай занимает важную ступень в системе городского наземного транспорта [1–4]. Например, новая пятисекционная модель 71-952, построенная в 2025 году российской компанией «Транспортные системы», имеет длину 37,5 м, ширину 2,5 м и вместимость до 400 чел. при наполнении 8 чел. на 1 м<sup>2</sup>. Вагон предназначен для челночного движения, имеет по семь дверей с каждой стороны, оснащен четырьмя тележками: крайние тележки выполнены поворотными, а средние — неповоротными (рис. 1) [5].

Самый длинный в мире трамвай модели Škoda ForCity Smart 38T был построен в 2024 году компанией Škoda Group для линий Рейн-Неккар, которые соединяют

три города: Мангейм, Людвигсхафен и Гейдельберг в Германии. Он представляет собой шестисекционный двухсторонний трамвай, имеет длину 58,61 м, ширину 2,4 м и предназначен для работы на колее 1000 мм. В Китае все большее применение находят шинные безрельсовые трамваи [6, 7].



**Рис. 1.** Российский пятизвенный двухсторонний трамвайный вагон модели 71-952 «Воевода» длиной 37,5 м и вместимостью до 400 чел. [5].

Источник: ПК «Транспортные системы»

Возникновение любой аварии на путях может привести к получению травм пассажирами, движение на маршруте временно приостанавливается, возникают заторы из вагонов и автомобилей. Это приводит к тому, что трамвай теряет свою привлекательность и пассажиры будут предпочитать для поездок другие виды транспорта (автобус, метрополитен). Компания-перевозчик несет при этом убытки, как связанные с необходимостью ремонта подвижного состава, так и от потери пассажиров.

Сбербанк и Cognitive Technologies в 2019 году основали компанию Cognitive Pilot, которая специализируется на создании беспилотных систем для транспорта, аграрного сектора, а также технологий компьютерного зрения и искусственного интеллекта. В настоящее время российская компания Cognitive Pilot входит в список ведущих мировых компаний — разработчиков искусственного интеллекта для автономного транспорта и поставляет свою продукцию не только в Россию, но и еще в 12 стран мира [8].

Технология Cognitive Navigation представляет собой систему автономного управления беспилотными транспортными средствами, разработанную этой компанией. Термин «когнитивный» включает в себя такие факторы, как память, внимание, восприятие, принятие решений, позволяющих человеку взаимодействовать с окружающей средой и адаптироваться к ней.

Важнейшие аспекты технологии Cognitive Navigation:

- искусственный интеллект (ИИ) и компьютерное зрение для видения и понимания окружающего пространства, что позволяет выполнять точные навигационные задачи;
- автономное управление, включающее в себя системы автопилотирования рельсового транспорта (локомотив, трамвай);
- технология точной навигации, которая позволяет транспортному средству перемещаться с сантиметровой точностью, даже в условиях отсутствия интернета и GPS (навигационной спутниковой системы);

- распознавание объектов, включая области, которые трудно различить человеческим глазом;
- полная автономность работы транспортного средства;
- инновационные методы обучения искусственного интеллекта, позволяющие решать одновременно несколько задач, что ведет к существенному уменьшению продолжительности обработки информации и экономит вычислительные ресурсы;
- устойчивость и независимость, заключающаяся в способности работать в условиях отсутствия сигналов спутниковых навигационных систем;
- импортозамещение, которое предполагает, что на основе технологий Cognitive Pilot в России будут полностью замещены зарубежные аналоги.

Наиболее сложная задача при организации беспилотного сообщения транспортного средства в городе заключается в установлении его точного местоположения, что служит важнейшим условием обеспечения безопасного движения. Как правило, для этого используется сигнал GPS, но в условиях в города, при наличии плотной инфраструктуры (зданий, парков, мостов и оборонных предприятий, осуществляющих глушение GPS-сигнала) использование данной технологии не представляется возможным.

Основными элементами системы Cognitive Navigation являются инерциальный модуль, который представляет собой гироскопическое устройство, служащее для ориентации трамвая в пространстве, и одометрический датчик, определяющий путь, пройденный трамваем по результатам замера угла поворота колеса и карте рельсовых путей города. Карта включает все маршруты движения трамвая, стрелочные узлы, схемы территорий трамвайных парков и т. д.

Одометрическая система является навигационной системой, использующей информацию о пройденном расстоянии и направлении движения объекта для определения его местоположения и маршрута. Она включает в себя механический датчик пути, курсовую систему, вычислительное устройство и курсовой указатель на планшете.

Механический датчик линейного перемещения располагается на подвижном составе, а его подвижная часть соединена с осью колесной пары и передает данные о его движении в вычислительное устройство. Использование данного устройства позволяет точно определять продольное перемещение трамвайного вагона и снижает погрешность, которая обуславливается профилем рельсового пути [9–14].

Российской компанией Cognitive Pilot разработана система активной безопасности и помощи водителю (АБПВ) Cognitive Tram Pilot, предназначенная для рельсового городского транспорта, которая базируется на системе навигации Cognitive Navigation, разработанной на основе искусственного интеллекта, компьютерного зрения и способной работать в случае отсутствия сигналов GPS [8].

Данная система, устанавливаемая на трамвай, состоит из трех основных элементов:

- блока видеокамер (рис. 2);
- радара;
- вычислительного блока.



**Рис. 2.** Кабина трамвая, оснащенная системой Cognitive Tram Pilot: два блока видеокамер расположены под софитами [15]. Источник: Cognitive Tram Pilot

Действие системы АБПВ условно можно разделить на три основные функции: обнаружение препятствий, распознавание сигналов светофоров и соблюдение разрешенной скорости движения по маршруту.

Для обеспечения автономного управления трамваем, как и любым другим городским транспортом, критически важно знать его точное местоположение. Эта информация необходима для корректной работы нескольких ключевых компонентов системы:

1. Управление проездом перекрестков. Определение сигналов светофора представляет собой непростую задачу, особенно в условиях плохой видимости (ночью, в непогоду), когда легко спутать «свой» светофор с встречным или рекламными огнями. Система должна точно распознавать сигналы светофоров, сопоставлять их с информацией на карте и принимать решение о возможности безопасного проезда перекрестка.

2. Предотвращение столкновений. При необходимости экстренного торможения система должна точно рассчитать параметры замедления, чтобы обеспечить максимальный комфорт для пассажиров.

3. Контроль скорости. Система контролирует скоростной режим движения трамвая с учетом существующих ограничений скорости на маршруте следования.

Перемещение трамвая отслеживается с сантиметровой точностью, хотя для большинства задач достаточно погрешности 0,5 м. В случае потери сигнала GPS навигация осуществляется с помощью данных от одометра (датчика пройденного пути), инерциального блока и карты рельсовых путей.

Технология контроля погрешностей перемещения позволяет проводить их учет индивидуально для каждой единицы подвижного состава; отслеживать показания и ошибки датчиков в случае изменения (уменьшения) радиуса катания колеса после механической обработки обода колеса или эксплуатационного износа.

Подобно другим системам автопилотирования от Cognitive Pilot, Cognitive Tram Pilot использует антропоморфную модель искусственного интеллекта для точного определения местоположения трамвая. Эта система анализирует данные с камеры, сравнивает их с картой маршрута и при обнаружении расхождений корректирует координаты, опираясь на результаты видеоанализа (рис. 3).



**Рис. 3.** Интерфейс системы компьютерного зрения [8]. Источник: Cognitive Tram Pilot

Для функционирования системы навигации не требуется дополнительная инфраструктура, такая как Wi-Fi-маяки или RFID-метки. Это значительно упрощает внедрение и снижает затраты на роботизацию городских трамваев.

Система становится незаменимым помощником водителя как в ситуациях, связанных с риском ДТП, так и при обычном движении по маршруту, помогая оптимально проходить сложные участки.

Cognitive Tram Pilot также контролирует состояние водителя и окружающую обстановку, что способствует предотвращению аварий и других опасных ситуаций. Система использует нейронные сети, которые, подобно человеку, требуют обучения для эффективной работы.

По утверждению экспертов, основными преимуществами трамваев, оборудованных системой автопилота, являются [15]:

- исключение влияния человеческого фактора, который может проявляться в отвлечении внимания водителя при разговоре по мобильному телефону, засыпании при движении, возникновении стрессовых ситуаций, при этом система функционирует в режиме плавного, неторопливого хода, что обеспечивает поддержание оптимального графика движения и позволяет эффективно адаптироваться к изменяющимся дорожным условиям;

- повышение безопасности движения трамвая на 20–25 %;

- увеличение безопасности и комфорта для пассажиров;

- продление срока службы рельсовой инфраструктуры на 30–40 % за счет применения контроля скоростного режима;

- постоянный мониторинг инфраструктуры города — определение проблемных зон, повреждений дорожного полотна, знаков, элементов освещения и др.;

- возможность сделать движение трамваев более равномерным, уменьшить заторы и сократить время ожидания для пассажиров;

- обеспечение безопасного следования по маршруту при любой погоде, в сложных условиях движения, включая темное время суток, при выпадении осадков в любое время года, а также в случае ослепления светом встречного транспорта;

- непрерывное повышение возможностей искусственного интеллекта вплоть до способности беспилотного движения. Система постепенно принимает на себя все больше функций по управлению подвижным составом, причем за водителем остается возможность контроля и вмешательства в процесс управления;

- использование отечественных компонентов более чем на 80 %.

К недостаткам данной системы следует отнести:

- затраты на ее приобретение, установку и обслуживание;

- резкое торможение в случае остановки;

- необоснованные ложные срабатывания;

- недостаточно четкое восприятие сигналов светофоров;

- необоснованное снижение скорости движения на маршруте;

- отсутствие соответствующей для ее работы инфраструктуры и нормативно-правовой базы.

Петербург получил новые трамваи от ПК «Транспортные системы», в которых особое внимание уделено безопасности и комфорту пассажиров. Современные вагоны оснащены передовым оборудованием, в том числе системой Cognitive Tram Pilot (рис. 4). Эта интеллектуальная система помогает водителю распознавать пешеходов, сигналы светофоров, другие транспортные средства и дорожные знаки, анализирует дорожную обстановку и предупреждает о возможных опасностях. Умный трамвай также контролирует скорость, предотвращает отвлечение

водителя и следит за его состоянием, не допуская засыпания. Кроме того, предусмотрены функции дистанционного управления стрелками и обеспечения приоритетного проезда.



**Рис. 4.** Кабина водителя трамвая модели 71-932 «Невский», оснащенная системой обеспечения активной безопасности и помощи водителю Cognitive Tram Pilot [15].

Источник: Cognitive Tram Pilot

Салон вагона имеет панорамное остекление, установлены специальные кронштейны для велосипедов, кнопка вызова водителя, откидная аппарель для доступа в салон пассажиров с ограниченными возможностями. Также предусмотрены USB-разъемы и мультимедийные информационные комплексы. Для водителя создано эргономичное кресло, обновлен пульт, есть датчик дождя, система кругового обзора вагона и связь с диспетчером.

Решение о проведении испытаний беспилотных технологий на различных видах городского пассажирского транспорта (включая трамвай) было принято Министерством экономического развития России в форме постановления об ЭПР (экспериментальном правовом режиме). В нем предусмотрено проведение экспериментов в Москве и Санкт-Петербурге. Инициатором принятия данного документа явился Московский метрополитен.

Экспериментальный проект по внедрению беспилотных трамваев включает в себя несколько ключевых направлений. Прежде всего разработают и подготовят программу обучения для водителей, которые будут участвовать в испытаниях, а также для специалистов, ответственных за диагностику оборудования в процессе тестирования. Параллельно будут проводиться мероприятия, направленные на повышение уровня безопасности эксплуатации подвижного состава. Основной

акцент в рамках данного эксперимента будет сделан на обеспечении безопасности движения. Беспилотные трамваи будут курсировать по маршруту под постоянным надзором водителя-оператора.

На основе существующей нормативной базы ЭПР планируется создать правовую основу для функционирования общественного транспорта, управляемого без участия человека. Этот экспериментальный режим будет действовать в течение трех лет.

В процессе проведения испытаний каждый трамвай должен наездить до 3000 км или наработать около 150 часов, только после этого они будут допущены для работы в беспилотном режиме, но все же в присутствии водителя-оператора. Начиная с 2022 года в Санкт-Петербурге предприятие «Городской электрический транспорт» вплотную занимается беспилотными технологиями. В настоящее время более 330 трамваев оснащены системой активной безопасности и помощи водителю Cognitive Tram Pilot, которая хорошо зарекомендовала себя на городском трамвае.

Так, например, в июне 2024 года трамвайный вагон, оборудованный данной системой и способный работать в беспилотном режиме, принимал участие наравне с водителями в профессиональном конкурсе водителей трамвая в Санкт-Петербурге. Результаты работы по точности остановки перед светофорами, стоп-линиями и по времени прохождения маршрута оказались наравне с лучшими сотрудниками предприятия.

В Санкт-Петербурге на 2026 год намечено проведение эксперимента по запуску беспилотного трамвая. Договоренность об этом была достигнута еще в 2023 году между предприятием СПб ГУП «Горэлектротранс» и компаниями Cognitive Pilot и «Транспортные системы».

В Москве беспилотный трамвай предполагалось пустить в эксплуатацию до конца 2025 года.

Следует принимать во внимание, что целый ряд экспертов сомневается в том, что в настоящее время полностью беспилотный трамвай вообще необходим. Полностью беспилотное движение трамвая будет осуществлено в том случае, когда все стороны, принимающие участие в проекте, убедятся в надежности и безопасности его работы, а также в случае наличия необходимой инфраструктуры и законодательного обеспечения.

Эксперимент позволит разработать нормативную правовую модель регулирования беспилотного общественного транспорта. Сейчас проводятся доводка и отладка системы активной помощи водителю, которая непрерывно совершенствуется и обучается за счет замечаний, выявленных водителями. Специалисты анализируют и устраняют все возникающие недостатки.

В перспективе предполагается установка системы активной безопасности и помощи водителю на весь парк новых трамваев в городе, которая является также

и беспилотной системой управления. Применение данной системы позволит в первую очередь повысить безопасность и эффективность работы городского трамвая в Санкт-Петербурге.

### Список источников

1. Эволюция конструкции подвижного состава легкорельсового транспорта в Санкт-Петербурге / А. А. Воробьев [и др.] // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2020. Т. 17, № 1. С. 62–70.
2. Быльцева В. Д., Пакулина Е. В. Совершенствование конструкции подвижного состава легкорельсового транспорта в Санкт-Петербурге // Прогрессивные технологии, применяемые при ремонте железнодорожного подвижного состава: сборник трудов Национальной научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых. СПб., 2020. С. 44–50.
3. Воробьев А. А., Будюкин А. М., Кондратенко В. Г. Анализ современных технических решений, применяемых в конструкциях низковольтных трамвайных вагонов // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2021. Т. 18, № 1. С. 1–15.
4. Михалицын А. А., Будюкин А. М. Анализ конструкций современных низковольтных трамвайных вагонов // Прогрессивные технологии, применяемые при ремонте рельсового подвижного состава: сборник трудов Национальной научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых / под ред. А. А. Воробьева. СПб., 2023. С. 110–117.
5. Производство городского электрического транспорта ООО «ПК «Транспортные системы». URL: <https://pk-ts.org> (дата обращения: 26.11.2025).
6. Перспективы применения автономного шинного трамвая Phileas с технологией магнито-электронного наведения / А. А. Воробьев [и др.] // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2023. Т. 20, № 1. С. 252–262.
7. Целесообразность применения цифровых трамваев на шинах в городах России / А. М. Будюкин [и др.] // Бюллетень результатов научных исследований. 2024. № 1. С. 84–96.
8. Когнитивный пилот трамвая. URL: <https://cognitivepilot.com/products/cognitive-tram-pilot/> (дата обращения: 26.11.2025).
9. Липатов А. Г., Белова Е. Ю. Эффективность эксплуатации транспортных средств с использованием искусственного интеллекта // Инновации и инвестиции. 2023. № 6. С. 165–167.
10. Gonzalez M., Retana J. Technological Innovations in Autonomous Trains: A Review // Journal of Rail Transportation Planning & Management. 2022. No. 45. Pp. 80–95.
11. Кромцов Е. Е. Системы управления движением на основе искусственного интеллекта // Техническая механика. 2022. № 7 (4). С. 32–38.
12. Горбачев Б. А., Будюкин А. М., Кондратенко В. Г. Развитие беспилотного управления поездами на подвижном составе ОАО «РЖД» // Прогрессивные технологии, применяемые при ремонте рельсового подвижного состава: сборник трудов Национальной научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых / под ред. А. А. Воробьева. СПб., 2023. С. 101–106.

13. Искусственный интеллект и безопасность управления транспортом / А. Н. Цыбульский [и др.] // Системы автоматизированного проектирования на транспорте: материалы X Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. СПб., 2023. С. 281–293.

14. Обзор развития информационных систем управления эксплуатацией техники / В. Г. Щепин [и др.] // Современные технологии, применяемые при обслуживании и ремонте автомобилей: сборник трудов VIII Национальной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых. СПб., 2024. С. 224–229.

15. Горэлектротранс рассказал об обучении умных трамваев на форуме «ИТ-Диалог». URL: <https://electrotrans.spb.ru/> (дата обращения: 26.11.2025).

Дата поступления: 24.04.2026

Решение о публикации: 30.05.2026

#### **Контактная информация:**

ВОРОБЬЕВ Александр Алфеевич — доктор техн. наук, профессор; [nttk@pgups.ru](mailto:nttk@pgups.ru)

ПЕРЕПЕЧЕНОВ Александр Маркович — кандидат техн. наук, доцент; [nttk@pgups.ru](mailto:nttk@pgups.ru)

КОНДРАТЕНКО Владимир Григорьевич — кандидат техн. наук, доцент; [nttk@pgups.ru](mailto:nttk@pgups.ru)

МИГУЛИН Никита Константинович — аспирант; [migulinnik@rambler.ru](mailto:migulinnik@rambler.ru)

## **Improving Tram Safety Through the Use of Active Safety and Driver Assistance Systems**

**A. A. Vorob'ev, A. M. Perepechenov, V. G. Kondratenko, N. K. Migulin**

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9 Moskovsky ave., Saint Petersburg, 190031, Russia

**For citation:** *Vorob'ev A. A., Perepechenov A. M., Kondratenko V. G., Migulin N. K. Improving Tram Safety Through the Use of Active Safety and Driver Assistance Systems // Bulletin of Scientific Research Results, 2026, iss. 2, pp. 53–64. DOI: 10.20295/2223-9987-2026-2-53-64 (In Russian)*

#### **Abstract**

**Objective:** this article examines the feasibility of implementing an active safety and driver assistance system (ASDS) on a city tram. **Methods:** analysis of manufacturer data and the operator's experience using the Cognitive TramPilot system on tram rolling stock in St. Petersburg. **Results:** implementation of this system has reduced the number of tram derailments, passenger falls, pedestrian collisions, and vehicle-vehicle accidents. **Practical significance:** installation of this system on all Gorelektrotrans rolling stock can be recommended to improve traffic safety and transportation efficiency, and, ultimately, to facilitate the transition to driverless trams.

**Keywords:** urban growth, increasing traffic congestion, environmental degradation, tram transport, active safety and driver assistance systems, accident prevention, improving traffic safety and efficiency, driverless tram

## References

1. Vorob'ev A. A., et al. Evolyutsiya konstruksii podvizhnogo sostava legkorel'sovogo transporta v Sankt-Peterburge [Evolution of the Design of Light Rail Rolling Stock in St. Petersburg], *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshcheniya [Proceedings of Petersburg State Transport University]*, 2020, vol. 17, no. 1, pp. 62–70. (In Russian)
2. Byl'tseva V. D., Pakulina E. V., Budyukin A. M. Sovershenstvovanie konstruksii podvizhnogo sostava legkorel'sovogo transporta v Sankt-Peterburge [Improving the Design of Light Rail Rolling Stock in St. Petersburg], *Progressivnye tekhnologii, primenyaemye pri remonte zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava [Progressive Technologies Used in the Repair of Railway Rolling Stock: Collection of Works of the National Scientific and Technical Conference of Students, Master's Students, Graduate Students and Young Scientists]*, 2020, pp. 44–50. (In Russian)
3. Vorob'ev A. A., Budyukin A. M., Kondratenko V. G. Analiz sovremennykh tekhnicheskikh reshenij, primenyaemykh v konstruksiyakh nizkopol'nykh tramvajnykh vagonov [Analysis of Modern Technical Solutions Used in the Designs of Low-Floor Tram Cars], *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshcheniya [Proceedings of Petersburg State Transport University]*, 2021, vol. 18, no. 1, pp. 1–15. (In Russian)
4. Mikhalitsyn A. A., Budyukin A. M. Analiz konstruksij sovremennykh nizkopol'nykh tramvajnykh vagonov [Analysis of the Designs of Modern Low-Floor Tram Cars], *Progressivnye tekhnologii, primenyaemye pri remonte rel'sovogo podvizhnogo sostava [Progressive Technologies Used in the Repair of Rail Rolling Stock: Collection of Works of the National Scientific and Technical Conference of Students, Master's Students, Postgraduates and Young Scientists]*, ed. by A. A. Vorob'ev, Saint Petersburg, 2023, pp. 110–117. (In Russian)
5. Proizvodstvo gorodskogo elektricheskogo transporta OOO "PK "Transportnye sistemy" [Production of Urban Electric Transport by PC Transport Systems LLC]. URL: <https://pk-ts.org> (accessed November 26, 2025). (In Russian)
6. Vorob'ev A. A., et al. Perspektivy primeneniya avtonomnogo shinnogo tramvaya Phileas s tekhnologiej magnito-elektronного navedeniya [Prospects for the Application of the Autonomous Bus Tram Phileas With Magneto-Electronic Guidance Technology], *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshcheniya [Proceedings of Petersburg State Transport University]*, 2023, vol. 20, no. 1, pp. 252–262. (In Russian)
7. Budyukin A. M., et al. Tselesoobraznost' primeneniya tsifrovykh tramvaev na shinakh v gorodakh Rossii [Feasibility of Using Digital Bus Trams in Russian Cities], *Byulleten' rezul'tatov nauchnykh issledovanij [Bulletin of Scientific Research Results]*, 2024, no. 1, pp. 84–96. (In Russian)
8. Kognitivnyj pilot tramvaya [Cognitive Tram Pilot]. URL: <https://cognitivepilot.com/products/cognitive-tram-pilot/> (accessed: November 26, 2025). (In Russian)
9. Lipatov A. G., Belova E. Yu. Effektivnost' ekspluatatsii transportnykh sredstv s ispol'zovaniem iskusstvennogo intellekta [Efficiency of Operation of Vehicles Using Artificial Intelligence], *Innovatsii i investitsii [Innovations and Investments]*, 2023, no. 6, pp. 165–167. (In Russian)
10. Gonzalez, M., Retana, J. Technological Innovations in Autonomous Trains: A Review, *Journal of Rail Transportation Planning & Management*, 2022, no. 45, pp. 80–95.

11. Kromtsov E. E. Sistemy upravleniya dvizheniem na osnove iskusstvennogo intellekta [Traffic Control Systems Based on Artificial Intelligence], *Tekhnicheskaya mekhanika [Journal of Technical Mechanics]*, 2022, no. 7 (4), pp. 32–38. (In Russian)

12. Gorbachev B. A., Budyukin A. M., Kondratenko V. G. Razvitie bespilotnogo upravleniya poezdami na podvizhnom sostave OAO “RZhD” [Development of Unmanned Train Control on the Rolling Stock of JSC Russian Railways], *Progressivnye tekhnologii, primenyaemye pri remonte rel'sovogo podvizhnogo sostava: sbornik trudov Natsional'noj nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov, magistrantov, aspirantov i molodykh uchenykh [Progressive Technologies Used in the Repair of Rail Rolling Stock: Collection of Papers of the National Scientific and Technical Conference of Students, Master's Students, Postgraduate Students and Young Scientists]*, ed. by A. A. Vorob'ev, Saint Petersburg, 2023, pp. 101–106. (In Russian)

13. Tsybul'sky A. N., et al. Iskusstvennyj intellekt i bezopasnost' upravleniya transportom [Artificial Intelligence and Transport Control Safety], *Sistemy avtomatizirovannogo proektirovaniya na transporte: materialy X Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh [Computer-Aided Design Systems in Transport: Proceedings of the X International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates, and Young Scientists]*, Saint Petersburg, 2023, pp. 281–293. (In Russian)

14. Shchepin V. G., et al. Obzor razvitiya informatsionnykh sistem upravleniya ekspluatatsiej tekhniki [Review of the Development of Information Systems for Equipment Operation Management], *Sovremennye tekhnologii, primenyaemye pri obsluzhivanii i remonte avtomobilej: sbornik trudov VIII Natsional'noj mezhvuzovskoj nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov, magistrantov, aspirantov i molodykh uchenykh [Modern Technologies Used in Vehicle Maintenance and Repair: Collection of Papers of the VIII National Interuniversity Scientific and Technical Conference of Students, Master's Students, Postgraduates, and Young Scientists]*, Saint Petersburg, 2024, pp. 224–229. (In Russian)

15. Gorelektrotrans rasskazal ob obuchenii umnykh tramvaev na Forume “IT-Dialog” [Gorelectrotrans Spoke about the Training of Smart Trams at the IT Dialogue Forum]. URL: <https://electrotrans.spb.ru/> (accessed: November 26, 2025). (In Russian)

Received: April 25, 2026

Accepted: May 30, 2026

**Author's information:**

Alexander A. VOROB'EV — Dr. Sci. in Engineering, Professor; [nttk@pgups.ru](mailto:nttk@pgups.ru)

Alexander M. PEREPECHENOV — PhD in Engineering, Associate Professor; [nttk@pgups.ru](mailto:nttk@pgups.ru)

Vladimir G. KONDRATENKO — PhD in Engineering, Associate Professor; [nttk@pgups.ru](mailto:nttk@pgups.ru)

Nikita K. MIGULIN — Postgraduate Student; [migulinnik@rambler.ru](mailto:migulinnik@rambler.ru);