

УДК 629.433.2

## Целесообразность применения цифровых трамваев на шинах в городах России

**В. Г. Кондратенко, А. М. Будюкин, А. А. Воробьев, О. А. Ипполитов**

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

**Для цитирования:** Кондратенко В. Г., Будюкин А. М., Воробьев А. А., Ипполитов О. А. Целесообразность применения цифровых трамваев в городах России // Бюллетень результатов научных исследований. — 2024. — Вып. 1. — С. 84–96. DOI: 10.20295/2223-9987-2024-01-84-96

### Аннотация

**Цель:** показать перспективность применения инновационного вида общественного городского транспорта — цифрового трамвая на шинах с оптическим наведением по нанесенной на дороге полосе или с использованием магнитных маркеров по трассе движения как привлекательного для пассажиров, более дешевого в обустройстве линий, а также требующего меньше времени на постройку, чем рельсовый трамвай, для городских перевозок, и позволяющего разгрузить дороги городов от автомобильных пробок и улучшить их экологию. **Методы:** проведены анализ и обобщение опыта работы новых цифровых трамваев, построенных китайской компанией CRRC, эксплуатируемых в городах Китая: Чжучжоу, Ибинь, Юнсю, Яньчэн и Шанхай, а также наиболее прогрессивных конструкций эксплуатируемого подвижного состава. **Результаты:** эксплуатация шинного трамвая выявила целый ряд проблем: появление после года эксплуатации сильной колеяности на выделенной полосе дороги, скорость движения и вместимость оказались ниже заявленных. Устройство новых линий шинного трамвая потребовало затрат на усиление проезжей части, что не предполагалось первоначально изготовителем. Не доказана возможность их применения в условиях зимнего климата на дорогах, покрытых льдом и снегом. Требуется проведение дальнейших испытаний с целью выявления и устранения возникающих недостатков. **Практическая значимость:** несмотря на ряд выявленных недоработок, целесообразно использование цифрового шинного трамвая для городов с теплым климатом, имеющих сложный рельеф и узкие улицы, в качестве транспортного средства средней вместимости, которое способно улучшить мобильность и качество жизни горожан, а также сократить негативное влияние на окружающую среду. Целесообразна его прокладка в новые строящиеся жилые районы и промзоны, а также применение для массовой подвозки пассажиров, в случае проведения каких-либо крупных разовых мероприятий: крупных выставок, форумов, Олимпийских игр, мировых чемпионатов по футболу и т. п.

**Ключевые слова:** чрезмерная автомобилизация в мегаполисах, сильные пробки на дорогах, загрязнение окружающей среды, цифровой трамвай на шинах, отсутствие рельсов и контактной сети, виртуальные трамвайные пути, нанесение полосы или установка магнитных маркеров по трассе движения, оптическая или магнитная система наведения, малый радиус поворота, быстрое развертывание системы.

В Китае в настоящее время из-за активного процесса урбанизации и сильного загрязнения окружающей среды существует огромный спрос на современные системы городского общественного транспорта. В транспортном потоке преобладают частные автомобили с нагрузкой 1,1 человека на транспортное средство, используемые для поездки на работу. Общественный транспорт необходим для сокращения пробок и выбросов на автомагистралях и в многолюдных городских центрах Китая. Большинство средних и малых

городов не могут позволить себе строительство метрополитена или прокладку трамвайных путей. Помимо этого, их сооружение занимает слишком много времени.

Китайская корпорация CRRC Corporation Limited (CRRC) является крупнейшим в мире производителем рельсового подвижного состава (поезда, трамваи), образована в 2015 году в результате слияния компаний CNR и CSR. Компания CRRC предложила заменить рельсы полосой, нанесенной на проезжей части, полагаясь на систему распознавания изображений на борту поезда, который будет следовать по нарисованным путям благодаря применению системы искусственного интеллекта. Разработка транспортной системы средней вместимости ART была начата еще в 2013 году. Данная система позиционируется как более дешевая альтернатива метрополитену или трамваю, а также как экологичный вид транспорта.

Прокладка километра легкорельсового транспорта обходится в 20–30 млн долл., а метрополитена — от 70–150 млн долл. Транспортное средство ART на 300 пассажиров стоит около 2,2 млн долл., а стоимость развертывания данной системы составляет порядка 7–15 млн долл. за километр.

Транспортная система Autonomous Rail Rapid Transit (ART) была разработана и изготовлена исследовательским подразделением компании CRRC Zhuzhou Institute Co., Ltd. (Китай). ART представляет собой многозвенное транспортное средство на шинах (безрельсовый трамвай), состоящее из отдельных фиксированных секций, соединенных шарнирными трапами, оборудованными лидарами для городских пассажирских перевозок. Впервые было представлено в городе Чжучжоу (провинция Хунань) в июне 2017 года. Система заявлена как автономная, однако работающие вагоны имеют оптическое наведение и водителя на борту. Автобусы с оптическим управлением до этого уже использовались в ряде городов Европы и Северной Америки.

Вагон ART с тремя секциями имеет длину примерно 30 м и может перевозить до 300 пассажиров, с пятью секциями рассчитан на 500 пассажиров. В 2021 году была представлена четырехсекционная конструкция на 400 пассажиров. Два транспортных средства могут тесно следовать друг за другом, не будучи механически соединенными, подобно управлению составным поездом. Весь подвижной состав ART имеет полностью низкопольную конструкцию, состоящую из пространственной рамы с панелями на болтах, чтобы выдерживать вес пассажиров. Он построен как двунаправленное транспортное средство с кабинами водителя на обоих концах, что позволяет ему двигаться в любом направлении на полной скорости.

ART оснащен различными оптическими и другими типами датчиков, которые позволяют транспортному средству автоматически следовать по маршруту, определяемому виртуальной разметкой на проезжей части. Он оборудован руле-

вым управлением, которое позволяет водителю вручную управлять транспортным средством, в том числе объезжать препятствия.

Система предупреждает о выходе из полосы движения, помогает удерживать транспортное средство на своей полосе и автоматически предупреждает, если он уходит за пределы этой полосы движения. Также система информирует о возможном столкновении и помогает водителю сохранять безопасную дистанцию с другими транспортными средствами на дороге, и, если сближение становится критичным, она оперативно сообщает об этом водителю.

Навигационное устройство, установленное на ART, анализирует дорожную обстановку на выбранном маршруте и может рекомендовать объезд, чтобы избежать пробок. Электронные зеркала заднего вида работают с дистанционно регулируемыми камерами и обеспечивают более четкое изображение, чем обычные зеркала, включая устройство автоматического затемнения для уменьшения бликов.

Транспортное средство питается от тяговых литий-титанатных батарей и может проехать 40 км на одной полной зарядке. Аккумуляторы можно заряжать через токоприемники на остановках. Время перезарядки для поездки на расстояние от 3 до 5 км составляет 30 секунд, а для поездки на 25 км — 10 минут.

Технология многоосного гидравлического рулевого управления и конструкция ходовой части, напоминающая тележку, позволяет уменьшить радиус поворота, что приближает его к рельсовому транспорту. Основные технические параметры транспортного средства системы ART приведены в таблице.

В городе Чжучжоу (провинция Хунань) была построена первая 6,5-километровая линия ART, A1, проходящая через центр города (4 станции), которая начала свою работу в мае 2018 года. Транспортное средство, курсирующее по виртуальным путям в Чжучжоу, имеет длину 32 м, состоит из трех секций, каждая секция имеет длину около 10,5 м, в которой может разместиться около 100 пассажиров (полная вместимость поезда — 300 человек), а минимальный радиус поворота составляет всего 15 м. Он может двигаться со скоростью до 70 км/ч. В марте 2021 года была открыта вторая линия, A2, длиной 7,1 км (8 станций).

Аналогичная система была открыта в городе Ибинь (провинция Сычуань) (декабрь 2019 года) — линия Yibin ART T1, общая протяженность которой составляет 17,7 км (16 станций). Среднесуточный пассажиропоток на его первом участке составил более 10 000 человек, а после соединения со станцией Yibin West высокоскоростной железной дороги Чэнду — Гуйчжоу он должен превысить 25 000 человек.

Данные линии находятся в коммерческой эксплуатации. В городах Китая Юнсю (с 2019 года, 4 станции), Яньчэн (с 2021 года, 17 станций) данные системы находятся пока в опытной эксплуатации.

ТАБЛИЦА. Данные об изготовителе и технические характеристики автономного скоростного безрельсового транспорта системы ART

Наименование показателя	Значение
Производитель	CRRC Zhuzhou Institute Co., Ltd. (Китай)
Система наведения	Транспортное средство с оптическим наведением по линии, нанесенной на проезжей части
Построен	2017 год (опытный экземпляр)
Поступил в эксплуатацию	Дата открытия первой линии: 2018 год, Чжучжоу (провинция Хунань)
<b>Технические характеристики</b>	
Конструкция кузова транспортного средства	Пространственная рама с панелями на болтах
Длина поезда, м	3-звенный вагон: 31,64
Ширина кузова, м	2,65
Высота, м	3,4
Высота пола, мм	330
Заявленная максимальная скорость, км/ч	70
Источник питания	Литий-титанатные батареи
Ведущие колеса	Резиновые колеса на пластиковом сердечнике
Ходовая часть	Секции двухосные, многоосная система рулевого управления
Минимальный радиус поворота, м	15
Вместимость поезда, пассажиров	170–307 в 3-секционный вагон 278–500 в 5-секционный вагон
Максимальное расстояние, проходимое поездом при полной зарядке	40 км
Время зарядки	– 30 секунд на расстояние от 3–5 км – 10 минут на 25 км
Минимальная ширина полосы движения, м	3,83
Срок службы по кузову, лет	25

**Достоинства новой транспортной системы ART** (по информации изготовителя):

– отсутствие рельсов и контактной сети, что существенно сокращает сроки ее постройки;

– применение системы оптического наведения — датчики на каждой колесной паре распознают полосу движения и автоматически направляют транспортное средство по нанесенной на дороге специальной разметке. Искусственный интеллект лежит в основе системы распознавания изображений;

– технология многоосного гидравлического рулевого управления и колесная формула, аналогичная тележке. Водителю ART на поворотах не нужно выкручивать исходя из опыта, как это приходится делать на автобусе. Радиус поворота не зависит от длины транспортного средства и составляет всего 15 м, как и у рельсового трамвая. Такое техническое решение позволяет строить и эксплуатировать данное транспортное средство любой длины;

– представляет собой электрическое транспортное средство с питанием от суперконденсаторных батарей, которые установлены на крыше и заряжаются через токоприемник только на станциях, на которых есть зарядные устройства. 10-минутная зарядка позволяет проехать расстояние до 25 км;

– подвижной состав на резиновых колесах может преодолевать уклоны до 9 %, в то время как легкорельсовый транспорт только 4–6 %, такие колеса также обеспечивают лучшую тягу и ускорение (особенно на уклоне);

– безрельсовый трамвай выполнен модульным (многозвенным, со сквозным проходом), и вагоны (секции) можно добавлять или убирать (2–5 секций), что позволяет изменять его вместимость в зависимости от размера потока пассажиров;

– транспортное средство имеет 100%-ный низкий пол, высота которого над уровнем дорожного покрытия составляет 330 мм;

– современный дизайн нового транспортного средства и невысокая стоимость развертывания системы делают его привлекательным для реализации;

– транспортное средство стоит примерно столько же, сколько и автобус, но более надежен и вместителен.

В настоящее время система виртуального железнодорожного транспорта в Китае работает в Чжучжоу (провинция Хунань), Юнсю (провинция Джайникс) и Ибине (провинция Сычуань).

Данной системой заинтересовались и за границами Китая. Новый поезд ART предполагалось использовать в г. Доха (Катар) на чемпионате мира 2022 года, где он показал хорошие результаты на испытаниях в жаркую погоду в июле 2019 года.

В Малайзии (г. Саравак) приняли решение о постройке системы автономного шинного транспорта (ART) для улучшения общественного транспорта в Большом Кучинге и предполагаются работы по ее строительству. Город Киберджайя станет вторым в Малайзии, где будет тестироваться подвижной состав системы ART.

Также был разработан и построен прототип системы ART с применением водородных элементов, испытания которого успешно прошли в Чжучжоу (Китай) и продолжились летом 2023 года уже в Малайзии для г. Саравак. Прототип водородного поезда ART имеет длину 30,2 м, ширину 2,65 м и высоту 3,7 метра. Он может развивать скорость до 70 км/ч, имеет измененную компоновку сидений и вмещает 241 человека.

Более 100 городов по всему миру проявили интерес к данной системе виртуального железнодорожного транспорта и уже обсудили сотрудничество.

Помимо данной шинной транспортной системы, в Китае разработана и построена альтернативная система от компании CRRC в Шанхае с использованием новой системы управления iDRT.

Компания Shanghai Electric Automation Group, которая входит в состав Shanghai Electric Group Company Limited, разработала первую в Китае новую ин-

теллектуальную систему дистанционного управления железнодорожным транспортом iDRT для безрельсового трамвая с резиновыми колесными шинами. Это первая в Китае интеллектуальная цифровая железнодорожная транспортная система управления положением транспортного средства средней вместимости в режиме реального времени и направлением резиновых шин по трассе движения трамвая, использующая магнитные маркеры в качестве виртуальных трамвайных путей и требующая применения современных методов управления трамвайным движением.

В Шанхае, в новом районе Линган, экспериментальной зоне свободной торговли построена демонстрационная линия T1 общей протяженностью 21,75 км с девятью остановками. Эта линия проходит от станции Дишуйху линии метро 16, через основную городскую зону нового района, университетский город Колледж-таун и международный логистический парк, поселок Лучаоган, промышленную зону тяжелого оборудования и поселок Ничэн. При этом нет необходимости прокладывать рельсы по земле, что значительно снижает эксплуатационные расходы городского транспорта и не влияет на проезд других транспортных средств.

Построенный для линии T1 вагон от компании Digital-Rail Rapid Transit CRRC Puzhen (DRT) представляет собой гибрид (аккумуляторы, водород), имеет внешний вид, схожий с автобусом, на нем установлены датчики для сбора информации с магнитных маркеров на дорожном полотне. Каждый трамвай DRT состоит из трех звеньев, имеет длину 30,5 м, развивает максимальную скорость 70 км/ч, имеет вместимость 302 пассажира.

Он представляет собой восьмиосный, полностью электрический вагон с двойным сочленением для движения в обоих направлениях.

Одним из строителей демонстрационной линии T1 являлась компания Automation Group — дочерняя компания Shanghai Electric Group, которая оборудовала первой в Китае системой iDRT трамваи DRT средней вместимости.

Также компания Automation Group провела поставку, установку и отладку электромеханических систем, таких как цифровой рельс, система управления движением поездов, специализированная беспроводная связь и специализированная магистральная связь для трамваев, система интеллектуальных платформ и центра управления.

Специалисты из CRRC утверждают, что система DRT имеет много преимуществ перед транспортной системой ART, построенной в городе Чжучжоу.

Подвижной состав линии DRT оборудован датчиками под транспортным средством для ведения по магнитным стержням, установленным на поверхности дороги, что помогает определять положение транспортного средства в режиме реального времени и контролировать направление колес. Транспортное средство способно регулировать свою скорость, объезжать препятствия и выполнять другие операции для обеспечения безопасности, независимо от погодных

условий. Водитель получает исчерпывающую информацию о заданной скорости, остановках и отклонениях пути. Возможно использование этой системы на демонстрационных линиях с автоматическим вождением.

Новая линия имеет короткий период строительства, занимает меньшую площадь поверхности дорожного полотна, обеспечивает значительную экономию энергии и сокращение вредных выбросов. Благодаря сочетанию низкой стоимости и применению гибких технологий эта новая транспортная система может работать с использованием существующих в городах дорог, что делает ее весьма привлекательным выбором для городского транспорта. Для строительства 1 км демонстрационной линии системы DRT потребовалось примерно на 50% меньше инвестиций, чем для прокладки обычного рельсового трамвая, что способствовало созданию в новом районе Линган зеленой, интеллектуальной и интегрированной обширной транспортной экосистемы.

В Шанхае 1 февраля 2021 года в новом районе Линган официально началась пробная эксплуатация демонстрационной линии T1 шанхайской пилотной зоны свободной торговли. Компания Shanghai Electric Powers провела пробную эксплуатацию первого в Китае цифрового безрельсового трамвая, оснащенного системой iDRT.

Демонстрационная линия T1, включающая в себя 9 остановок, оборудованных зарядными устройствами, полностью планировалось завершить к концу 2021 года. На первом этапе эксплуатации эта линия начала работу на аккумуляторной тяге, пока строятся водородные заправочные станции, с последующим полным переходом на водородное топливо. Зарядка батарей осуществляется через пантографы в специально отведенных местах на остановках.

Производитель утверждает, что системы DRT являются оптимальным выбором для городского транспорта средней вместимости.

**Транспортная система DRT линии T2.** Транспортная система средней вместимости, работающая на водородных топливных элементах в новом районе Линган нового района Пудун в Шанхае, на востоке Китая, была запущена в декабре 2022 года.

Линия T2 имеет протяженность 8,7 км: от станции Дишуйху до станции Шуйхуалу, с девятью станциями между ними. Когда линия T2 будет полностью введена в эксплуатацию, будет сформирована общая сеть с линией T1.

***Достоинства транспортного средства DRT линии T2 Lingang:***

– подвижной состав линии T2 имеет измененный внешний вид обтекаемой формы и усовершенствованную конструкцию;

– конструкция кабины водителя существенно улучшена, усовершенствован дизайн консоли панели управления, что значительно повысило удобство вождения. Использована технология объединения нескольких экранов, чтобы не отвлекать внимание водителя от управления;

– основными цветами салона выбраны синий и белый, что вызывает у пассажиров ощущение жизненной силы и бодрости. Форма средней панели крыши транспортного средства обладает хорошей технологичностью;

– применена технология виртуального наведения подвижного состава с магнитным датчиком в качестве основного и оптического наведения как дополнение. Трамвай может реализовывать уровень автономного вождения GoA2 для железнодорожного транспорта или уровень вождения L2 для автомобиля;

– применена гибридная система питания: на водородном топливе и от суперконденсаторов, для обеспечения нулевого уровня выбросов при работе транспортного средства;

– усовершенствованная технология рулевого управления всеми колесами используется для повышения способности DRT проходить повороты. В сочетании с технологией виртуального наведения это значительно снижает стоимость пробега при той же пассажировместимости;

– применены передовые технологии, такие как определение расстояния между транспортными средствами, контроль угла поворота колес, определение давления в шинах, защита от радаров, панорамный объемный обзор, что обеспечивает эффективное управление транспортным средством и безопасность эксплуатации;

– кузов выполнен из экологически чистого углеродного волокна в целях совершенствования конструкции и снижения его веса.

В Шанхае запланирована постройка 105-километровой сети DRT средней пропускной способности в районе Лингана, которая будет включать в себя 6 линий, для обеспечения удобного транспортного обслуживания жителей. На сегодняшний день на дорогах Шанхая уже работают порядка 66 водородных автобусов.

Результаты эксплуатации шинных трамвайных систем в Китае выявили ряд присущих им недостатков:

– системы не автономны;

– системы не имеют рельсов и обладают ходовыми качествами автобуса;

– работают от батареи (водородного топливного элемента), не имеют постоянного питания от воздушного провода, что делает их менее эффективными, склонными к сбоям в работе, и ограничивает их пробег;

– имеют колеса с резиновыми шинами и поэтому требуют еще большего обслуживания, поскольку резиновые шины изнашиваются быстрее, чем колеса обычных трамвайных поездов, а также менее энергоэффективны;

– быстрое изнашивание дорожного покрытия и возникновение колеиности из-за многократного движения тяжелых колес по одним и тем же участкам дороги, что приводит к дискомфорту для пассажиров и повреждению транспортного средства;

– для обеспечения плавного хода, уровня комфорта для пассажиров характерного для легкорельсового транспорта, а также долгосрочной экономии инфра-

структуры, требуется аналогичный уровень первоначальных инвестиций в укрепление проезжей части наряду со всеми сопутствующими затратами времени;

- из-за отсутствия рельсов и контактной сети происходит экономия при строительстве, но при эксплуатации требуется гораздо больше затрат энергии для движения поезда, потому что резиновые колеса движутся по асфальту. Трамвай может двигаться гораздо эффективнее на обычных путях из-за трения металла о металл;

- необходима выделенная полоса для движения, чтобы безрельсовый трамвай не стоял в пробках, иначе это не скоростной транспорт;

- для безопасности в случае возникновения чрезвычайной ситуации или аварии за пультом управления должен находиться оператор;

- поскольку это запатентованная технология, необходимые транспортные средства не могут быть приобретены на конкурсной основе.

В ряде публикаций за 2018 год учеными в области устойчивого развития утверждается, что безрельсовые трамваи могут заменить как рельсовый транспорт, так и скоростной автобус из-за низкой стоимости и малых сроков строительства, а также низкого уровня выбросов. Но целый ряд других ученых оспаривают подобные утверждения.

На самом деле транспортные системы ART и DRT компании CRRC представляют собой новую технологию, которая в настоящее время имеет очень ограниченное применение и в эксплуатации находится менее 50 км маршрута. Эти маршруты уже продемонстрировали недостатки технологии, в том числе выявленные проблемы с колеиностью на проезжей части и максимальные скорости движения оказались значительно ниже заявленных 70 км/ч (50 км/ч в Чжучжоу и 55 км/ч в Ибине).

К январю 2020 года колеиность на первой коммерчески действующей линии безрельсового трамвая в китайском городе Чжучжоу была настолько серьезной, что оптическая система наведения больше не могла стыковаться со станциями, что сделало линию плохо функционирующей всего через год после ввода в эксплуатацию.

Специалистами в 2021 году на трассе в Чжучжоу был обнаружен значительный износ дорог из-за эксплуатации безрельсового трамвая, что опровергает заявления производителя о малых сроках строительства и низких капитальных затратах. При этом исследователи пришли к заключению, что полоса дороги для движения поезда требует значительного усиления.

Для запуска безрельсового трамвая, вероятно, потребуется существенный уровень первоначальных инвестиций в укрепление проезжей части наряду со всеми сопутствующими затратами времени и финансов. Самая сложная часть строительства любой рельсовой системы — это перемещение важных инженерных коммуникаций из коридора прокладки будущей трассы, что необходимо делать и при постройке шинного трамвая.

Также оказалось, что безрельсовые трамваи имеют меньшую вместимость, чем заявлено. При расчете вместимости производитель считал, что плотность стоячих мест составляет восемь пассажиров на 1 м<sup>2</sup>, тогда как многие системы общественного транспорта имеют плотность мест для проезда стоя, составляющую четыре пассажира на 1 м<sup>2</sup>. Исходя из этого, 32-метровый ART более реалистично вмещает 170 пассажиров, а не заявленные 307. Сочлененные автобусы при той же плотности пассажиров вмещают около 150 пассажиров и меньше по сравнению с типичным вагоном трамвая (LRV) длиной 33 м, который вмещает 210–225 пассажиров.

Много вопросов вызывает и надежность работы подвижного состава с оптическим наведением. Автобусы с оптическим управлением существуют с начала XXI века, но с трудом эксплуатируются из-за наличия на проезжей части пыли, листьев, тумана и суровых погодных условий, ограничивающих практическую функциональность системы.

Вызывает сомнение и утверждение, что безрельсовые трамваи дешевле, чем традиционный скоростной автобусный транспорт. Также до сих пор не доказана пригодность системы для работы в условиях зимнего климата на дорогах, покрытых льдом и снегом.

Могут ли действительно безрельсовые шинные трамваи в городах заменить рельсовый трамвай? На современном этапе пока нет. Таким образом, в настоящее время безрельсовые трамваи – это, скорее всего, перспективная технология, многие предполагаемые преимущества которой еще предстоит адекватно продемонстрировать в реальном мире.

Несмотря на ряд выявленных недоработок, все же целесообразно использование цифрового шинного трамвая (систем ART и DRT) для городов с теплым климатом, имеющих сложный рельеф и узкие улицы, в качестве транспортного средства средней вместимости. Он способен реально быстро улучшить мобильность и качество жизни горожан, а также сократить негативное влияние на окружающую среду. Целесообразна быстрая прокладка линий цифровых шинных трамваев в новые жилые кварталы или промзоны, а также для массовой подвозки пассажиров, в случае проведения каких-либо крупных разовых мероприятий: крупных выставок, форумов, Олимпийских игр, мировых чемпионатов по футболу и т. п.

## Библиографический список

1. Киселев И. П. История скоростных сухопутных нетрадиционных видов пассажирского транспорта // История науки и техники. 2006. № 8. С. 2–12.
2. Киселев И. П. Развитие классификаций транспортных систем в СССР и России. Специфика колеевого (направляемого) транспорта // Известия Петербургского университета путей сообщения. СПб.: ПГУПС, 2010. Вып. 4 (25). С. 168–178.

3. Фортунатов В. В. История мировых цивилизаций. СПб.: Питер, 2012. 560 с.
4. Голубев А. А., Киселев И. П., Голубев В. И. и др. История транспорта: учеб. пособие; под ред. В. В. Фортунатова. СПб.: ПГУПС, 2013. 134 с.
5. Воробьев А. А., Будюкин А. М., Кондратенко В. Г. Перспективы применения направляемого легкого транспорта в российских городах // Транспорт Российской Федерации. 2022. № 3 (100). С. 40–43.
6. Современные трамваи: сочлененные, низкопольные, вместительные // «Грузовик Пресс». 2013. № 9. С. 64–66.
7. Воробьев А. А., Будюкин А. М., Кондратенко В. Г. Анализ современных технических решений, применяемых в конструкции низкопольных трамвайных вагонов // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2021. Т. 18. № 1. С. 1–15.
8. Городской транспорт. URL: [trsnfoto.ru](http://trsnfoto.ru) (дата обращения: 04.02.2023).
9. Быльцева В. Д., Будюкин А. М., Пакулина Е. В. Совершенствование конструкции подвижного состава легкорельсового транспорта в Санкт-Петербурге // Прогрессивные технологии, применяемые при ремонте железнодорожного подвижного состава: сб. трудов Национальной научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых. СПб.: ПГУПС, 2020. С. 44–50.
10. Кондратенко В. Г., Воробьев А. А., Будюкин А. М. и др. Эволюция конструкции подвижного состава легкорельсового транспорта в Санкт-Петербурге // Известия Петербургского университета путей сообщения. СПб.: ПГУПС, 2020. Т. 17, вып. 1. С. 62–67.

#### **Контактная информация:**

БУДЮКИН Алексей Митрофанович — канд. техн. наук, доцент; [ktexmet@yandex.ru](mailto:ktexmet@yandex.ru)

КОНДРАТЕНКО Владимир Григорьевич — канд. техн. наук, доцент; [ktexmet@yandex.ru](mailto:ktexmet@yandex.ru)

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

ИППОЛИТОВ Олег Александрович — аспирант кафедры «Наземные транспортно-технологические комплексы»; [nttk@pgups.ru](mailto:nttk@pgups.ru)

Дата поступления: 26.01.2024

Решение о публикации: 29.02.2024

## **The feedability of using digital trams on tires in russian cities**

**V.G. Kondratenko, A.M. Budyukin, A.A. Vorob'ev, Ippolitov O.A.**

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., St. Petersburg, 190031, Russia

**For citation:** *Kondratenko V. G. Budyukin A. M., Vorob'ev A. A., Ippolitov O. A. The feedability of using digital trams on tires in russian cities // Bulletin of scientific research results, 2024, iss. 1, pp. 84–96. DOI: 10.20295/2223-9987-2024-01-84-96*

## Abstract

**Objective:** show the prospects of using an innovative type of public urban transport - a digital tram on tires with optical guidance along a strip marked on the road or using magnetic markers along the route, as attractive to passengers, cheaper in the arrangement of lines, as well as requiring less time to build than rail tram for urban transportation, allowing to relieve city roads from traffic jams and improve their ecology. **Methods:** an analysis and generalization of the operating experience of new digital trams built by the Chinese company CRRC, operated in the cities of China: Zhuzhou, Yibin, Yongxiu, Yancheng and Shanghai, as well as the most advanced designs of the operating rolling stock. **Results:** the operation of the tire tram revealed a number of problems: after a year of operation, severe rutting appeared on a dedicated lane of the road, speeds and capacity were lower than declared. The construction of new tire tram lines required costs for strengthening the roadway, which was not originally intended by the manufacturer. The possibility of their use in winter climate conditions on roads covered with ice and snow has not been proven. Further testing is required to identify and eliminate emerging deficiencies. **Practical significance:** despite a number of identified shortcomings, it is advisable to use a digital tire tram for cities with a warm climate, with complex terrain and narrow streets as a medium-capacity vehicle that can improve the mobility and quality of life of citizens, as well as reduce the negative impact on the environment. It is advisable to lay it in new residential areas and industrial zones under construction, as well as to use it for mass transportation of passengers in the event of any major one-time events: major exhibitions, forums, Olympic Games, world football championships, etc.

**Keywords:** excessive motorization in megacities, heavy traffic jams, environmental pollution, digital tram on tires, lack of rails and overhead lines, virtual tram tracks, striping or installing magnetic markers along the route, optical or magnetic guidance system, small turning radius, rapid system deployment.

## References

1. Kiselev I. P. Istoriya skorostnyh suhoputnyh netradicionnyh vidov passazhirskogo transporta // Istoriya nauki i tekhniki. 2006. № 8. S. 2–12. (In Russian)
2. Kiselev I. P. Razvitie klassifikacij transportnyh sistem v SSSR i Rossii. Specifika kolejnogo (napravlyаемого) transporta // Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshcheniya. SPb.: PGUPS, 2010. Vyp. 4 (25). S. 168–178. (In Russian)
3. Fortunatov V. V. Istoriya mirovyh civilizacij. SPb.: Piter, 2012. 560 s.
4. Golubev A. A., Kiselev I. P., Golubev V. I. i dr. Istoriya transporta: ucheb. posobie; pod red. Fortunatova V. V. SPb.: PGUPS, 2013. 134 s. (In Russian)
5. Vorob'ev A. A., Budyukin A. M., Kondratenko V. G. Perspektivy primeneniya napravlyаемого legkogo transporta v rossijskih gorodah // Transport Rossijskoj Federacii. 2022. № 3 (100). S. 40–43.
6. Sovremennye tramvai: sochlenennye, nizkopol'nye, vmestitel'nye // Gruzovik Press, 2013. № 9. S. 64–66. (In Russian)
7. Vorob'ev A. A., Budyukin A. M., Kondratenko V. G. Analiz sovremennyh tekhnicheskikh reshenij, primenyaemyh v konstrukcii nizkopol'nyh tramvajnyh vagonov // Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshcheniya. 2021. T. 18. № 1. S. 1–15. (In Russian)
8. Gorodskoj transport. URL: [trsnfoto.ru](https://trsnfoto.ru) (data obrashcheniya: 04.02.2023). (In Russian)
9. Byl'ceva V. D., Budyukin A. M., Pakulina E. V. Sovershenstvovanie konstrukcii podvizhnogo sostava legkorel'sovogo transporta v Sankt-Peterburge // Progressivnye tekhnologii, primenyaemye pri

remonte zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava: sb. trudov nacional'noj nauchno-tehnicheskoy konferencii studentov, magistrantov, aspirantov i molodyh uchenykh. SPb.: PGUPS, 2020. S. 44–50. (In Russian)

10. Kondratenko V. G., Vorob'ev A. A., Budyukin A. M. i dr. Evolyuciya konstrukcii podvizhnogo sostava legkorel'sovogo transporta v Sankt-Peterburge // Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshcheniya. SPb.: PGUPS. 2020. T. 17. (In Russian)

Received: 26.01.2024

Accepted: 29.02.2024

**Author's information :**

Alexey M. BUDYUKIN — PhD Sci. in Engineering, Associate Professor; ktexmet@yandex.ru

Vladimir G. KONDRATENKO — PhD Sci. in Engineering, Associate Professor; ktexmet@yandex.ru

Alexander A. VOROBYOV — Dr. Sci. in Engineering, Professor; nttk@pgups.ru

Oleg A. IPPOLITOV – graduate student of the department “Land transport and technological complexes”; nttk@pgups.ru