

УДК 629.433.2

Перспективы применения автономного шинного трамвая Phileas с технологией магнито-электронного наведения

А. А. Воробьев, А. М. Будюкин, В. Г. Кондратенко, И. К. Самаркина

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

Для цитирования: Воробьев А. А., Будюкин А. М., Кондратенко В. Г., Самаркина И. К. Перспективы применения автономного шинного трамвая Phileas с технологией магнито-электронного наведения // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2023. — Т. 20. — Вып. 1. — С. 252–262. DOI: 10.20295/1815-588X-2023-1-252-262

Аннотация

Цель: Показать перспективность применения нового вида общественного городского транспорта автономного шинного трамвая системы Phileas без направляющего среднего рельса и контактной сети, с применением системы магнито-электронного наведения как более привлекательного для пассажиров, чем обычный трамвай, для городских перевозок, чтобы разгрузить улицы городов от автомобильных пробок. **Методы:** Проводились анализ и обобщение опыта работы ведущих предприятий, эксплуатирующих данный вид транспорта, таких стран как Нидерланды (Эйндховен, Амстердам), Франция (Дуэ), Германия (Кельн), Турция (Стамбул), а также Южная Корея и др. Выполнен анализ наиболее прогрессивных конструкций, примененных в данном транспортном средстве. **Результаты:** Опыт работы предприятий доказал целесообразность использования вагонов шинного трамвая без направляющего рельса для городов, но выявил целый ряд недостатков, связанных с несовершенством работы системы магнито-электронного наведения, имеющей целый ряд неустраняемых недостатков. Подвижной состав Phileas показал себя недостаточно надежным в эксплуатации, что привело к его постепенному преждевременному изъятию и замене обычными сочлененными автобусами, т. е. превращению его из трамвая в обычную систему BRT. **Практическая значимость:** Применение автономной системы шинного трамвая без направляющего рельса и контактной сети имеет хорошие перспективы в городах, но необходимо применение более современной элементной базы для наведения с применением технологий искусственного интеллекта. Транспортная система Phileas просто несколько опередила свое время. В российских городах не стоит отказываться от развития существующих и строительства новых систем классического трамвая и легкорельсового транспорта.

Ключевые слова: Направляемый легкий транспорт, шинный трамвай, низкопольное многосвязное (сочлененное) транспортное средство, гибридный привод, система наведения.

В конце 90-х годов XX века в европейских городах в силу чрезмерного увлечения индивидуальными транспортными средствами возникли транспортные проблемы. Городским властям пришлось решать вопросы, связанные с высокой загруженностью городских улиц и резким ухудшением экологии, путем пересаживания жителей из автомобиля на общественный транспорт [1–4].

Во многих городах стали восстанавливать снятые трамвайные пути, усиливать автобусные маршруты. Для повышения комфорта пассажиров были разработаны и построены системы шинных трамваев с направляющим рельсом от компаний Bombardier и Translohr. Но эти системы не нашли широкого применения в городах в силу врожденного неустраняемого конструктивного недо-

статка, связанного с применением специального среднего направляющего рельса [5]. Для повышения эксплуатационных свойств шинного трамвая было предложено создать транспортную систему без применения механической направляющей, заменив ее трассой с расположенными на ней магнитными датчиками.

В 2003 г. инжиниринговая компания Advanced Public Transp Systems BV (APTS), входящая в автобусный холдинг VDL, при выполнении заказа городского совета города Эйнховена (Eindhoven), Нидерланды, выпустила первый образец уникального двухсекционного транспортного средства Phileas — городского трамвая на шинах (автобусного типа) без механической направляющей системы. Его можно назвать High-Quality Public Transport Concept (HQPT), т. е. высококачественной концепцией общественного транспорта, которая гармонично сочетает в себе множество оригинальных технических решений:

- современный необычный внешний вид;
- минимальное загрязнение окружающей среды;
- высокую пассажировместимость;
- высокую среднюю скорость движения;
- комфорт для пассажиров;
- наличие отличной информационной системы;
- высокую гибкость маршрута;
- прочность и долговечность конструкции.

Основная концепция — это шинный трамвай, который представляет собой высокопроизводительное и технически совершенное транспортное средство с характеристиками классического трамвая. Преимущество транспортного средства с магнито-электронным наведением по сравнению с традиционным трамваем или системой Translohr заключается в снижении затрат: инфраструктура намного дешевле в установке и обслуживании из-за отсутствия рельсов и контактной сети [6, 7].

Транспортные средства производились на заводе VDL Bus Heerenveen bv в Херенвене (Нидерланды). Компания построила для Эйнховена 12 единиц транспортных средств — «экспериментальных прототипов» с особым дизайном, для обслуживания зоны застройки Westcorridor. Большая часть подвижного состава имела длину 18 метров с одинарным сочленением (рис. 1), но были 24-метровые варианты с двойным сочленением (рис. 2). Концепция также допускала еще более длинные 26-метровые варианты с двойным сочленением — для использования там, где местные законы разрешают транспортные средства такой длины (рис. 3) [8].

Предполагалось их использовать на маршруте, начинающемся у северо-западной части городского центра, пролегающем по специальному коридору через район центрального вокзала, спортивный комплекс (Stadionkwartier), жилые районы и заканчивающемся у международного аэропорта Eindhoven.

Рекуперация в настоящее время применяется на рельсовом транспорте, практически мало используется на автобусах и автомобилях, но на Phileas ее удалось успешно применить.

Транспортные средства Phileas первого поколения оснащались гибридной системой LPG — электрическая передача (компания Alstom). Гибридный электропривод серийного типа включал в себя небольшой двигатель внутреннего сгорания (ДВС), работающий на сжиженном нефтяном газе. ДВС работал с постоянной частотой вращения в режиме максимальной эффективности, приводил в действие электрогенератор, от которого ток поступал к управляемым электромотор-колесам и в аккумуляторную систему из батарей NiMH (никель-металлгидридные аккумуляторы — АКБ). Такая система накапливала также энергию, полученную при торможении машины или ее движении на скоростных спусках. В случае, когда для движения машины использу-



Рис. 1. Двухзвенное транспортное средство Phileas длиной 18 метров, двери с одной стороны, на маршруте в Эйндховене (Нидерланды)



Рис. 2. Трехзвенный Phileas длиной 24 метра (двери с одной стороны) в Эйндховене (Нидерланды)



Рис. 3. Трехзвенный Phileas длиной 26 метров, двери с двух сторон, на маршруте ИЕТТ-Metrobus в Стамбуле (Турция)

ется часть мощности ДВС, другая часть подзарядила АКБ.

Заряда АКБ хватало, чтобы транспортное средство могло проехать до 3 км по городу с выключенным ДВС. Было заявлено, что использование этого типа гибридного привода позволяло снизить расход топлива до 30 % по сравнению с автобусом, который работает на сжиженном газе, сопоставимого размера.

Все колеса, кроме передних, имели уникальный приводной механизм — рулевое управление на все колеса. Это позволяло транспортным средствам Phileas двигаться боком (по-крабьи) и на автобусных остановках обеспечивать очень точную стыковку с зазором между транспортным средством и платформой всего в 5 см. Посадочные платформы автобусных остановок имели ту же высоту, что и пол автобусов, что улучшало доступ людей с ограниченными возможностями и позволяло ускорить посадку (высадку) пассажиров, а также помогало сократить время ожидания при вызове на автобусных остановках.

По результатам эксплуатации была проведена доработка одного транспортного средства — оно было оснащено маховиком, который запасал энергию, необходимую для запуска с места, после чего включался ДВС на сжиженном газе. Для повышения топливной экономичности маховик подзарядился во время рекуперативного торможения в процессе замедления.

Для снижения затрат и веса транспортных средств, а также для устранения проблем с перегревом двигателей, работающих на сжиженном газе, автобусы Phileas второго поколения изготавливались параллельными дизель-электрическими гибридами с использованием гибридно-электрической трансмиссии GM Allison. После опыта эксплуатации первоначальные транспортные средства были переведены на эту конфигурацию привода. Одним из следствий этого является то, что приводятся в движение только задние колеса.

Новый, более тихий двигатель позволил снизить расход топлива на 25 %. Замена двигателя привела к увеличению заднего свеса транспортного средства на 40 см. Система кондиционирования воздуха заменена на систему с лучшей охлаждающей способностью, чем предыдущая система.

Несколько машин по требованию заказчиков были произведены как электрические гибриды с водородными топливными элементами.

В ноябре 2005 г. было подписано соглашение о передаче лицензии и технологии между компанией-изготовителем APTS и Корейским научно-исследовательским институтом железных дорог (KRRRI). Корейская версия транспортного средства Phileas была изготовлена к маю 2011 года.

В Беларуси компания «Белкоммунмаш» (сейчас это ВКМ Holding) с 2008 года производит низкопольные троллейбусы и электробусы на базе Phileas, как однозвенные (АКСМ-420), так и двухзвенные (АКСМ-433). Эти машины работают во многих городах Беларуси (Минск, Витебск, Гомель и др.) и ряде городов России (Тула, Белгород).

В 2020 году компания ВКМ Holding поставила 20 сочлененных двухзвенных троллейбусов модели 433.030 Vitovt Max II в Санкт-Петербург, где эти машины и в настоящее время работают на маршрутах 1 и 6 троллейбусных парков города (рис. 4) [8–10].

Для повышения топливной экономичности в конструкции кузовов Phileas широко были использованы легкие материалы, такие как алюминий и пластик (плоский пол и потолок изготовлены из алюминиевых панелей). Были проведены краш-тесты, которые доказали высокую прочность кузова Phileas при опрокидывании. Так как транспортное средство создано из материалов, не подверженных коррозии, то изготовителем было заявлено, что долговечность конструкции должна была составлять не меньше 20 лет.

Транспортное средство имело модульную конструкцию, это позволило корректировать неко-



Рис. 4. Троллейбус модели 433.030 Vitovt Max II на базе Phileas в Санкт-Петербурге: длина (м) — 18,75; пассажироместность (чел.) — 160; мест для сидения — 42; максимальная масса (кг) — 28 000; мощность электродвигателя (кВт) — 180

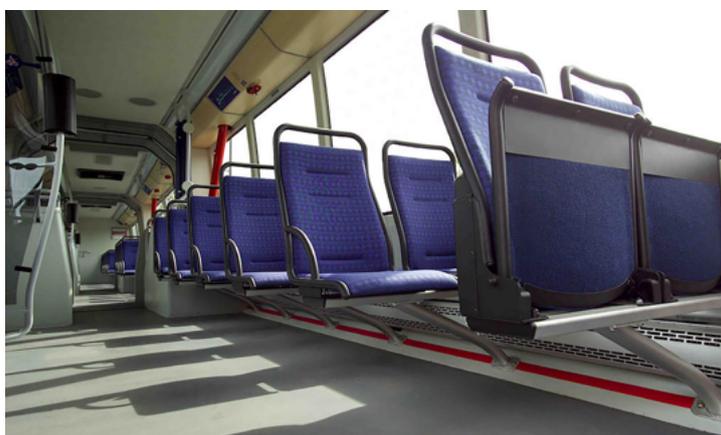


Рис. 5. Внутренний интерьер транспортного средства Phileas, имеется пространство для размещения багажа под сиденьями

торые конфигурации транспортного средства в соответствии с предполагаемыми требованиями заказчиков (расположение дверей и др.). Внутри все сиденья и стойки вмонтированы во внутренние стенки кузова — чтобы создать дополнительное пространство для размещения сумок (багажа) под сиденьями. Такое решение также упрощало внутреннюю уборку салона (рис. 5). Все транспортные средства Phileas были полностью оборудованы кондиционерами.

Phileas обеспечивал значительное изменение в улучшении условий для пассажиров. Дизельный двигатель работал очень тихо, ускорение происходило очень плавно. Благодаря хорошей подвеске транспортные средства плавно преодолевали любую неровность дорожного покрытия. Сеть остановок была продумана так, чтобы у людей имелись прекрасные возможности для пересадки на другие виды транспорта. Интервал между машинами на линии составлял не более 10 минут,



Рис. 6. Вид салона Phileas с узлом сочленения

а время всей поездки от «Центральной станции» до «Аэропорта Эйнховен» занимало менее 25 минут. По маршруту были оборудованы остановочные пункты с приподнятым основанием, которые позволяли пассажирам легко заходить в салон транспортного средства.

Остановки автобусов имели современный вид и были оборудованы информационными системами, которые сообщали, через какое время прибывает ближайшая машина. Множество автобусных остановок имели отдельные стоянки для автомобилей и велосипедов. Находящимся на борту Phileas пассажирам также была доступна информация относительно маршрута следования, очередности остановок и ожидаемого времени прибытия в конечную точку маршрута. Пол внутри салона был выполнен абсолютно плоский (рис. 6).

Отсутствовали даже какие-либо ступеньки и подиумы, обычные для низкопольных автобусов (трамваев), создающие неудобства для пассажиров. Широкие входные двери (1,2 метра) и минимальные перепады между уровнем остановки и полом автобуса позволяли пассажирам быстро

входить или покидать салон на остановках, а инвалидам на колясках заезжать в Phileas без посторонней помощи. Высокий комфорт в машинах Phileas обеспечивался и наличием в салоне обогревателя и кондиционера, а также пространства для багажа и держателей для инвалидных кресел. Для поддержания общей безопасности пассажиров транспорт был оснащен внутренними и наружными камерами видеонаблюдения.

Технические характеристики транспортных средств Phileas первого выпуска приведены в табл. 1.

Основой системы Phileas являлась новая для своего времени технология — магнито-электронного наведения, основанная на магнитных маяках FROG (Free Ranging в технологии Grid navigation). Транспортное средство, оснащенное FROG, было оборудовано бортовым компьютером, который содержал подробную карту схемы маршрута следования.

Данная технология хорошо подходила для транспортного средства, которое обычно следует одним и тем же заранее определенным марш-

ТАБЛИЦА 1. Техническая характеристика транспортного средства Phileas

Наименование параметра	Phileas 18 м	Phileas 24 м
Наименьший радиус поворота, м	11,8	11,2
Максимальный преодолеваемый подъем на сухом твердом грунте, %	до 13	
Количество управляемых колес	6	8
Клиренс, мм	180	
Длина, мм	17 990	24 000
Ширина, мм	2540	
Высота, мм	3120	
Колесная база передней секции, мм	7700	
Колесная база средней секции, мм	—	6010
Колесная база последней секции, м	7570	
Высота пола, мм	340	
Высота ступени, мм	320	320
Снаряженная масса, т	16,8	21,7
Количество дверей	3	4
Ширина входной двери, мм	1200	
Двигатель, модель, объем, л	Ford V10 (6,8)	
Мощность, л. с. при об/мин	219 при 3600	
Количество электромоторов	4	6
Их суммарная мощность, кВт	242	295
Максимальная скорость, км/ч	80	
Количество мест для сидения	30	38
Максимальное количество пассажиров при плотности (4 чел/м ²)	120	180

рутом и всегда может управляться вручную на других дорогах. Система FROG оснащена магнитами, которые встроены с интервалом 4 м в бетонное дорожное покрытие по всей трассе движения. Данные считываются бортовой компьютерной системой, которая также запрограммирована с указанием маршрута, по которому нужно следовать. Кроме того, компьютеры отслеживают обороты колес; это обеспечивает точную информацию о местоположении и помогает компьютеру направлять транспортное средство, как по правильному маршруту, так и к остановкам. Изготовители Phileas утверждали, что в неблагоприятных погодных условиях, таких как снег и лед, FROG обеспечивает более надежную систему, чем оптическая система наведения, которая использовалась французскими автобусами Civis.

FROG также предоставляет данные о местоположении транспортного средства для электронных информационных систем «в режиме реального времени» — не только для пассажиров, ожидающих на автобусных остановках, но и для информационных объявлений и дисплеев для пассажиров в транспортном средстве, а также для «внесистемных» пользователей, таких как информационные службы на основе мобильных телефонов и Интернета.

Транспортное средство Phileas, оборудованное системой FROG, позволяло технически реализовать три варианта вождения:

– в автоматическом режиме компьютеры управляют ускорением, торможением и управлением/наведением. В нем автобус сам разгоняется до 70 км/час при любых погодных условиях, тормо-

зит, когда необходимо, и останавливается. Однако на автобусных остановках водитель-человек контролирует закрытие дверей;

– в полуавтоматическом режиме компьютеры управляют рулем, а водитель-человек управляет ускорением и торможением;

– в ручном режиме водитель-человек делает все, как обычный дорожный автобус.

С технической точки зрения эти транспортные средства могли управляться автономно, но из-за законодательства и отсутствия устройств обнаружения препятствий на транспортном средстве (и при движении по открытой дороге) на борту всегда необходим водитель.

Информационные технологии и система автоведения на Phileas соответствовали уровню безопасности SIL-4 (высший уровень надежности). Она контролирует скорость и направление движения транспортного средства и имеет отказоустойчивую архитектуру с тройным резервированием. Это означает, что система бортового компьютера состоит из трех одноплатных компьютеров в конфигурации «2 из 3». Каждый из них устанавливался в разных местах автобуса, чтобы избежать полного отказа системы в случае столкновения транспортного средства. Каждый компьютер получал данные от всех датчиков через два соединения компьютерной шины CAN и сравнивал их с результатами двух других компьютеров. В случае несоответствия данных неисправный компьютер выключался и вся система переходила в безопасное состояние, что означало остановку транспортного средства и открытие дверей.

Система также должна была всегда обеспечивать информацию о нахождении транспортного средства, поэтому при вызове на остановках она автоматически разблокировала пассажирские двери с нужной стороны (обочина или центральный остров) и вызывала торможение, а также если оно отклонялось более чем на 15 см от намеченного пути или если перед ним обнаружено препятствие.

Тестирование системы управления FROG на автобусах Phileas было сопряжено с трудностями — невозможностью настроить синхронизацию светофоров с движением Phileas, также автоматический режим управления так и не удалось согласовать с остановками на светофорах. Были проблемы с внимательностью водителя, особенно когда транспортное средство работало в автоматическом режиме.

Поскольку технические проблемы так и не удалось устранить, в сентябре 2008 года было официально принято окончательное решение отказаться от использования автоматической системы наведения FROG, за исключением стыковки на автобусных остановках. С этого момента транспортные средства Phileas стали использоваться просто как обычный автобус с водителем на линии BRT.

Транспортное средство в эксплуатации показало себя недостаточно надежным, что привело к его преждевременному изъятию из нескольких сетей, в которых оно работало. Наиболее частыми неисправностями являлись: проблемы с дифференциалом и рулевым управлением (иногда и поломка), чрезмерный износ шин, трещины на шасси, сбой системы кондиционирования, преждевременный износ тормозных накладок, утечки масла и воздуха и ряд других, неперечисленных проблем, которые затрудняли эксплуатацию транспортного средства.

Данные транспортные средства поставлялись и в ряд городов, и в другие страны (табл. 2).

К 2016 году все транспортные средства были изъяты из эксплуатации и заменены обычными многосезонными автобусами, за исключением транспортного предприятия в Стамбуле, где к концу 2022 года на ходу оставалось где-то 20 единиц Phileas.

Система Phileas, создание которой обошлось более чем в 80 миллионов евро, потерпела неудачу. В ноябре 2014 года VDL, материнская компания APTS, подала иск о банкротстве APTS. Это произошло из-за отсутствия новых заказов. Про-

ТАБЛИЦА 2. Эксплуатация транспортных средств Phileas в городах и странах

Город (страна)	Компания	Количество, шт.	Длина, м	Технические особенности	Годы работы
Эйндховен (Нидерланды)	SRE	11	18	гибриды 1 поколения переделаны в 2-е поколение	09/2004 – 12/2016
		1	24		
Стамбул (Турция)	İETT- Metrobus	50	26	гибрид дизель-электр. двери с 2 сторон	2007 по н. в.
Дуэ (Франция)	SMTD Eveole	9	18	гибрид дизель-электр. двери с 2 сторон	2010–2014
		2	24		
Кельн (Германия)	PBK	2	18	гибрид водород-электр.	2011–2016
Амстердам (Нидерланды)	GVB	2	18	гибрид водород-электр.	2011–2014
Хайфа (Израиль)	Метронит	6	18	гибрид дизель-электр.	с 2013
Пескара (Италия)	GMT	1	18	гибрид дизель-электр.	не был введен в эксплуатацию

ект Phileas закончился банкротством для компании, так как он несколько опередил свое время, но в перспективе самоуправляемые транспортные средства непременно станут реальностью, но уже с применением современных технологий искусственного интеллекта.

Библиографический список

1. Киселев И. П. История скоростных сухопутных нетрадиционных видов пассажирского транспорта / И. П. Киселев // 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 / И. П. Киселев // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2010. — Вып. 4 (25). — С. 168–178.
3. Фортунатов В. В. История мировых цивилизаций / В. В. Фортунатов. — СПб.: Питер, 2012. — 560 с.
4. Голубев А. А. История транспорта: учеб. пособие / А. А. Голубев, И. П. Киселев, В. И. Голубев и др.; под ред. В. В. Фортунатова. — СПб.: ПГУПС, 2013. — 134 с.
5. Воробьев А. А. Перспективы применения направляемого легкого транспорта в российских городах / А. А. Воробьев, А. М. Будюкин, В. Г. Кондратенко // 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. Анализ современных технических решений, применяемых в конструкции низкопольных

трамвайных вагонов / А. А. Воробьев, А. М. Будюкин, В. Г. Кондратенко // Известия Петербургского университета путей сообщения. — 2021. — Т. 18. — № 1. — С. 1–15.

8. Городской транспорт. — URL: trasnfoto.ru (дата обращения: 04.02.2023).

9. Быльцева В. Д. Совершенствование конструкции подвижного состава легкорельсового транспорта в Санкт-Петербурге / В. Д. Быльцева, А. М. Будюкин, Е. В. Пакулина // 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. Эволюция конструкции подвижного состава легкорельсового транспорта в Санкт-Петербурге / В. Г. Кондратенко, А. А. Воробьев, А. М. Будюкин и др. // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС. — 2020. — Т. 17. — Вып. 1. — С. 62–67.

Дата поступления: 05.02.2023

Решение о публикации: 27.02.2023

Контактная информация:

ВОРОБЬЁВ Александр Алфеевич —
д-р техн. наук, проф.; 79219751198@yandex.ru
БУДЮКИН Алексей Митрофанович —
канд. техн. наук, доц.; ktexmet@yandex.ru
КОНДРАТЕНКО Владимир Григорьевич —
канд. техн. наук, доц.; ktexmet@yandex.ru
САМАРКИНА Ирина Константиновна —
канд. техн. наук, доц.; irina_samarkina@inbox.ru

Horizon to Use Autonomous Tire Tram Phileas with Magnetic-Electronic Steering Technology

A. A. Vorobiev, A. M. Budyukin, V. G. Kondratenko, I. K. Samarkina

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

For citation: Vorobiev A. A., Budyukin A. M., Kondratenko V. G., Samarkina I. K. Horizon to Use Autonomous Tire Tram Phileas with Magnetic-Electronic Steering Technology // *Proceedings of Petersburg Transport University*, 2023, vol. 20, iss. 1, pp. 252–262. (In Russian). DOI: 10.20295/1815-588X-2023-1-252-262

Summary

Purpose: To show horizon to use new kind of public urban transport -autonomous tire tram of Phileas system without guide middle rail and catenarian, with magnetic-electronic steering system application – as more attractive for passengers than regular tram for urban transportations to free city lines from car jams. **Methods:** Analysis and generalization of work experience of leading enterprises, which exploit given kind of transport, of such countries as Netherlands (Eindhoven, Amsterdam), France (Due), Germany (Cologne), Turkey (Istanbul) as well as South Korea and so on, were held. The analysis of the most progressive constructions, applied in given vehicle, has been fulfilled. **Results:** Enterprise work experience has proved the feasibility to use tire tram wagons without guide rail for cities but revealed whole series of drawbacks, connected with the imperfections of the work of magnetic-electronic steering system that has whole row of irremovable flaws. Phileas rolling stock has demonstrated itself as insufficiently reliable in exploitation that has led to its gradual premature withdrawal and change with regular articulated buses, i.e. its conversion from a tram to usual BRT system. **Practical significance:** The use of tire tram autonomous system without guide rail and catenarian has good look-outs in cities but it's necessary to apply more up-to-date element base for steering with the use of artificial intelligence technology. Phileas transport system has simply got ahead of its time. It's worth not to refuse from the development of existing classical trams and light transport and the design of their new systems.

Keywords: Steered light transport, tire tram, low-floor instantaneous (articulated) vehicle, hybrid drive, steering system.

References

1. Kiselev I. P. Istorija skorostnykh sukhopotnykh netraditsionnykh vidov passazhirskogo transporta [History of high-speed land non-traditional types of passenger transport]. *Istorija nauki i tekhniki* [History of science and technology]. 2006, Iss. 8, pp. 2–12. (In Russian)
2. Kiselev I. P. Razvitie klassifikatsiy transportnykh sistem v SSSR i Rossii. Spetsifika koleynogo (napravlyаемого) transporta [Development of classifications of transport systems in the USSR and Russia. Specifics of track (guided) transport]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya* [Proceedings of Petersburg Transport University]. St. Petersburg: PGUPS Publ., 2010, Iss. 4(25), pp. 168–178. (In Russian)
3. Fortunatov V. V. *Istoriya mirovykh tsivilizatsiy* [History of world civilizations]. St. Petersburg: Piter Publ., 2012, 560 p. (In Russian)
4. Golubev A. A., Kiselev I. P., Golubev V. I. et al. *Istoriya transporta: ucheb. posobie* [History of transport: textbook]. St. Petersburg: PGUPS Publ., 2013, 134 p. (In Russian)
5. Vorob'ev A. A., Budyukin A. M., Kondratenko V. G. Perspektivy primeneniya napravlyаемого legkogo transporta v rossiyskikh gorodakh [Prospects for the use of guided light transport in Russian cities]. *Transport Rossiyskoy Federatsii* [Transport of the Russian Federation]. 2022, Iss. 3(100), pp. 40–43. (In Russian)
6. Sovremennye tramvai: sochlenennye, nizkopol'nye, vmestitel'nye [Modern trams: articulated, low-floor, roomy].

Gruzovik Press [Truck Press]. 2013, Iss. 9, pp. 64–66. (In Russian)

7. Vorob'ev A. A., Budyukin A. M., Kondratenko V. G. Analiz sovremennykh tekhnicheskikh resheniy, primenyayemykh v konstruktsii nizkopol'nykh tramvaynykh vagonov [Analysis of modern technical solutions used in the design of low-floor tram cars]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya* [Proceedings of Petersburg Transport University]. 2021, vol. 18, Iss. 1, pp. 1–15. (In Russian)

8. *Gorodskoy transport* [City transport]. Available at: rasnfoto.ru (February 04, 2023). (In Russian)

9. Byl'tseva V. D., Budyukin A. M., Pakulina E. V. *Sovershenstvovanie konstruktsii podvizhnogo sostava legkorel'sovogo transporta v Sankt-Peterburge. Progressivnye tekhnologii, primenyaemye pri remonte zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava: sb. trudov natsional'noy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov, magistrantov, aspirantov i molodykh uchenykh* [Improving the design of the rolling stock of light rail transport in St. Petersburg. Proceedings of the national scientific and technical conference of students, undergraduates, graduate students and young scientists]. St. Petersburg: PGUPS Publ., 2020, pp. 44–50. (In Russian)

10. Kondratenko V. G., Vorob'ev A. A., Budyukin A. M. et al. Evolyutsiya konstruktsii podvizhnogo sostava legkorel'sovogo transporta v Sankt-Peterburge [Evolution of the design of the rolling stock of light rail transport in St. Petersburg]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya* [Proceedings of Petersburg Transport University]. St. Petersburg: PGUPS Publ., 2020, vol. 17, Iss. 1, pp. 62–67. (In Russian)

Received: February 05, 2023

Accepted: February 27, 2023

Author's information:

Alexander A. VOROBIEV — Dr. Sci. in Engineering, Professor; 79219751198@yandex.ru

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

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

Irina K. SAMARKINA — PhD in Engineering, Associate Professor;

irina_samarkina@inbox.ru