



**Анатолий
Эдуардович
Юницкий**
Anatoli E.
Unitsky



**Александр
Иванович
Кривицкий**
Aliaksandr I.
Kryvitski



**Сергей
Владимирович
Артюшевский**
Sergey V.
Artyushevsky



**Максим
Владимирович
Сокур**
Maxim V.
Sokur



**Михаил
Иосифович
Цырлин**
Michael I.
Tsyrlin

Высокоскоростной струнный транспорт uST для перевозки пассажиров: преимущества и перспективы развития

UST high-speed string transport for passenger transportation: advantages and development prospects

Аннотация

В работе представлены конструктивные особенности высокоскоростного струнного транспорта uST, области его применения; описаны преимущества перед другими видами транспорта, в том числе в экологичности, надежности и безопасности; приведены технические характеристики изготовленного шестиместного электромобиля «юнифлэш»; указаны основные направления совершенствования конструкции высокоскоростного струнного транспорта.

Ключевые слова: пассажирские перевозки, высокоскоростной транспорт, струнный транспорт, uST, юнифлэш.

Abstract

The paper presents the design features of the uST high-speed string transport, the scope of its application; describes the advantages over other modes of transport, including environmental friendliness, reliability and safety; provides technical characteristics of the manufactured six-seat electric vehicle “uniflash”; indicates the main directions for improving the design of high-speed string transport.

Keywords: passenger traffic, high-speed transport, string transport, uST, uFlash.

Авторы Authors

Анатолий Эдуардович Юницкий, председатель совета директоров и генеральный конструктор ЗАО «Струнные технологии», Минск; e-mail: a@unitsky.com | **Александр Иванович Кривицкий**, главный конструктор высокоскоростного транспортного комплекса ЗАО «Струнные технологии», Минск; e-mail: a.krivitskiy@unitsky.com | **Сергей Владимирович Артюшевский**, заместитель генерального конструктора по науке ЗАО «Струнные технологии», Минск; e-mail: s.artyshevskiy@unitsky.com | **Максим Владимирович Сокур**, ведущий инженер-конструктор ЗАО «Струнные технологии», Минск; e-mail: m.sokur@unitsky.com | **Михаил Иосифович Цырлин**, канд. техн. наук, ведущий специалист лаборатории разработки новых материалов ЗАО «Струнные технологии», Минск, email: m.tsirlin@unitsky.com

Anatoli E. Unitsky, General Designer, Unitsky String Technologies, Inc., Minsk; e-mail: a@unitsky.com | **Aliaksandr I. Kryvitski**, Chief Designer of High-Speed Transport Complex, Unitsky String Technologies, Inc., Minsk; e-mail: a.krivitskiy@unitsky.com | **Sergey V. Artyushevsky**, Deputy General Designer for Science, Unitsky String Technologies, Inc., Minsk; e-mail: s.artyshevskiy@unitsky.com | **Maxim V. Sokur**, Rolling Stock Department, Unitsky String Technologies, Inc., Minsk; e-mail: m.sokur@unitsky.com | **Michael I. Tsyrlin**, Candidate of Technical Sciences, Leading Specialist with New Materials Laboratory, Unitsky String Technologies, Inc., Minsk; e-mail: m.tsirlin@unitsky.com

Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте

По прогнозам развития транспорта спрос на пассажирские перевозки высокоскоростным транспортом в мире к 2050 г. увеличится почти в три раза. Существенную нишу возникшего мирового спроса планируется восполнить инновационными транспортными средствами, в том числе струнным транспортом uST (Unitsky String Technologies), представленным беспилотными навесными и подвесными транспортными средствами в виде рельсовых электромобилей на стальных колесах, которые перемещаются за счет электрической тяги по неразрезной предварительно напряженной рельсо-струнной путевой структуре эстакадного типа [1]. Данная технология воплощается ЗАО «Струнные технологии» в «ЭкоТехноПарке» (Марьяна Горка, Республика Беларусь) и Центре тестирования и сертификации uST (Шарджа, Объединенные Арабские Эмираты).

Струнный транспорт развивается в трех основных направлениях: высокоскоростной междугородний (до 500 км/ч, а в перспективе, при переходе в форвакуумную трубу, — и до 1250 км/ч), городской пассажирский (до 150 км/ч) [2] и грузовой [3]. Он не имеет аналогов в своей области, способен удовлетворять весь спектр транспортных потребностей и в будущем может быть структурирован в единую мировую транспортно-инфраструктурную, энергетическую и информационную сеть, которая позволит нашей цивилизации выйти на качественно новый этап своего технологического развития, подобно тому, как это происходило в XIX в. при массовом строительстве железных дорог, а в XX в. — автомобильных.

Высокоскоростной струнный транспорт представляет собой рельсовый электромобиль на стальных колесах, получивший название «юнимобиль» (на англ. uPod), содержащий кузов обтекаемой формы с плавно сопряженными между собой передней, средней и задней частями [4]. При этом переходные сопряжения построены по особым кривым, являющимся ноу-хау разработчика.

За счет отличной аэродинамической формы высокоскоростного юнимобиля, минимальной лобовой площади и уникального коэффициента C_x аэродинамического сопротивления (C_x не выше 0,06) достигается минимальное потребление электроэнергии. Благодаря тому, что путевая структура размещена над землей, происходит рациональное использование земли и ресурсов, сводится до минимума наносимый транспортом вред окружающей среде. Это в совокупности с исключением пересечения путевых структур струнного транспорта с дорогами общего пользования и отсутствием помех движению в виде пешеходов, домашних и диких животных, сельскохозяйственной и иной техники на порядок повышает безопасность высокоскоростного передвижения.

Как известно, более 90 % мощности привода транспортного средства, движущегося в воздушной среде со скоростью выше 350 км/ч, расходуется на преодоление аэродинамического сопротивления [4]. При этом

основной проблемой, с которой сталкиваются все виды наземного высокоскоростного транспорта, является эффект экрана. Его результат — резкое увеличение аэродинамического сопротивления вблизи экранирующей поверхности (земли, воды, дорожного полотна) из-за динамического нагнетания воздуха под днище транспортного средства. Экранный эффект как минимум вдвое ухудшает аэродинамические характеристики и, соответственно, увеличивает требуемую мощность двигателя транспортного средства. Следовательно, для того чтобы вдвое улучшить аэродинамику высокоскоростного транспорта и практически вдвое снизить расход энергии (топлива) на ту же самую транспортную работу, достаточно устранить экранный эффект. Это достигается поднятием юнимобиля над землей путем инновационной реконструкции сплошного дорожного полотна в узкие предварительно напряженные струнные рельсы, установленные на ажурных опорах. Таким образом, традиционное дорожное полотно в линейной насыпи (в том числе рельсошпальная решетка железной дороги) в uST системно трансформировано в совершенно иную конструкцию — на порядок менее материалоемкую и поэтому значительно более дешевую путевую структуру предварительно напряженной неразрезной (то есть без температурных швов) транспортной эстакады, лишенной паразитного экранного эффекта. Например, в центре испытаний струнного транспорта в Беларуси высота опор трассы, по которой движется транспорт, достигает 16 м. Это позволяет не только повысить энергоэффективность транспортно-инфраструктурного комплекса uST, но и сохранить ландшафт под эстакадой, включая посаженные там сады и виноградники.

Около 10 % энергии при высокоскоростном движении расходуется на преодоление сопротивления качению колеса по рельсу. В струнном транспорте применена самая эффективная система опирания подвижного состава на путевую структуру — стальное колесо по стальному рельсу, как и в железнодорожном транспорте. При этом улучшено взаимодействие в паре «колесо — головка рельса»: исключена массивная и ненадежная железнодорожная коническая колесная пара с одним гребнем на каждом колесе, устранен наклон рельса относительно вертикали, а юнимобиль снабжен дополнительной противосходной системой, обеспечивающей прямолинейное движение (в традиционной железной дороге движение поезда осуществляется по синусоиде).

Сегодня наиболее аэродинамичным юнимобилем можно назвать высокоскоростной юнифлэш. Так, прототип шестиместного юнифлэша в аэродинамической трубе показала значение коэффициента аэродинамического сопротивления 0,06 [5]. Для сравнения: лучшая аэродинамика среди автомобилей достигалась моделью Volkswagen XL1 со значением коэффициента аэродинамического сопротивления 0,189, которое в три раза хуже показателей высокоскоростного юнифлэша. Мень-

шее сопротивление воздуху позволяет в разы уменьшить потребление условного топлива или электроэнергии и безопасно разогнаться до 500 км/ч. При такой скорости расход топлива составит всего 0,93 кг/100 пасс-км. Так, например, экономия на пересчете жидкого топлива одним высокоскоростным юнифлэшем за 25 лет эксплуатации (срок службы рельсового электромотоцикла) составит около 20 тыс. т стоимостью около 20 млн долларов. При этом не будет выжжено 70 млн т атмосферного кислорода и не будет образовано более 100 млн т загрязняющих веществ. И это эффект всего лишь от одного высокоскоростного транспортного средства, число которых на сети дорог uST в будущем должно исчисляться миллионами.

Стоимость высокоскоростной трассы без учета стоимости подвижного состава, пассажирских вокзалов, станций и инфраструктурных объектов составляет от 3 до 7 млн долларов США за один километр — в зависимости от общей протяженности трассы (чем длиннее, тем дешевле последующий километр), рельефа местности и высоты опор (чем выше размещен путь, тем дороже), прочности подстилающих грунтов и др.

Благодаря перечисленным выше преимуществам себестоимость высокоскоростных перевозок uST будет значительно ниже себестоимости перевозок высокоскоростной железной дорогой, поездами на магнитной подушке, самолетом [5].

Области применения высокоскоростного струнного транспорта для грузопассажирских перевозок:

- между городами;
- между регионами;
- между странами и континентами (в том числе в тоннелях с нулевой плавучестью, размещенных в толще воды).

Конкурентные преимущества струнного транспорта

1. Уменьшение капитальных затрат на строительство за счет:

- значительного уменьшения изъятия земли под трассу и транспортную инфраструктуру;
- полного исключения (или минимизации) земляных насыпей, выемок, тоннелей, мостов, путепроводов, многоуровневых развязок и водопропускных сооружений;
- отсутствия защитных ограждений вдоль линейной части высокоскоростной трассы;
- уменьшения ресурсоемкости рельсо-струнной эстакады в сравнении с традиционными транспортными эстакадами балочного типа со сплошным дорожным полотном (рельсошпальной решеткой).

2. Снижение эксплуатационных издержек за счет уменьшения расхода энергии (топлива), расходов на об-

служивающий персонал и его заработную плату, объемов путевых и ремонтно-восстановительных работ.

3. Снижение в разы себестоимости высокоскоростных перевозок пассажиров и грузов.

4. Возможность щадящего освоения и заселения новых территорий в труднодоступных местах, комфортных для проживания (острова, горы, шельф моря и др.).

5. Повышение надежности и безопасности всепогодной и круглогодичной эксплуатации высокоскоростного транспортно-инфраструктурного комплекса uST в любых природно-климатических условиях — в любой стране на любом из континентов.

6. Возможность совмещения путевой структуры и опор эстакады uST с воздушными и кабельными линиями электропередачи и линиями связи — проводными, оптоволоконными, радиорелейными, сотовыми.

Экологичность uST

1. Низкая ресурсоемкость и энергозатратность на всех стадиях жизненного цикла высокоскоростного грузопассажирского транспортно-инфраструктурного комплекса (проектирование, строительство, ввод в эксплуатацию, эксплуатация, демонтаж и утилизация).

2. Высокоскоростная дорога в эстакадном исполнении, в отличие от дорог в линейной земляной насыпи, не нарушает рельеф местности, биогеоценоз и биоразнообразие прилегающих территорий.

3. Высокоскоростная дорога не уничтожает плодородную почву и произрастающую на ней растительность.

4. uST не препятствует естественному движению грунтовых и поверхностных вод; перемещению людей, домашних и диких животных, сохраняя исторически сложившиеся пути их миграций; работе транспортных средств существующих и перспективных транспортных систем — любому виду наземного и эстакадного транспорта, сельскохозяйственной и специальной технике.

Надежность и безопасность uST

1. Наличие у высокоскоростного подвижного состава uST систем курсовой устойчивости и систем управления с необходимой степенью дублирования и резервирования.

2. Значительный запас прочности — в разы — несущих струнных элементов (по расчетной штатной подвижной нагрузке и температурным воздействиям) в предварительно напряженной транспортной эстакаде.

3. Надежность работы в любых природно-климатических условиях (от Арктики до тропиков).

4. Устойчивость неразрезной и предварительно напряженной рельсо-струнной эстакады к проливным дождям и снежным заносам, штормовому ветру и гололеду, наводнениям и цунами, туманам и песчаным бурям.



Рис. 1. Юнифлэш U4-362. «ЭкоТехноПарк» (Марьяна Горка, Беларусь), 2019 г.

Таблица 1

Технические характеристики юнимобиля «Юнифлэш U4-362»

Максимальная конструкционная скорость, км/ч	500
Пассажировместимость, чел.	6
Снаряженная масса, кг	4120
Полная масса, кг	4750
Габаритные размеры, мм:	
длина	9200
ширина	1450
высота	1710



Рис. 2. Салон юнифлэша U4-362

5. Высокая устойчивость к сейсмике (до 9 баллов по шкале Рихтера), вандализму и террористическим актам.

Для высокоскоростных пассажирских перевозок инженеринговой компанией Unitsky String Technologies был разработан юнифлэш семейного типа U4-362 (для шести пассажиров). Он представляет собой разновидность юнимобиля — высокоскоростного электромобиля на стальных колесах (рис. 1).

Технические характеристики высокоскоростного юнифлэша U4-362 приведены в табл. 1 [6].

Модель юнифлэша U4-362 предназначена для демонстрации интерьера и экстерьера, уровня комфорта в салоне и его оснащения, уровня дизайна, универсальности и производства.

Салон юнифлэша (рис. 2) оборудован эргономичными сиденьями с регулируемыми спинками и подушками. Сиденья оснащены подогревом, вентиляцией, массажем и поясничной поддержкой.

В салон интегрированы дисплей со встроенной мультимедийной системой, в них есть разъем для наушников, интерфейс на нескольких языках, развлечения (музыка и видео). Дисплеи дают возможность просмотра маршрута в режиме реального времени, а также имеют функции индивидуальной регулировки кресел, управления сиденьями, температурой, освещенностью, системой экстренной связи с диспетчерским пунктом.

Кузов юнифлэша оборудован отдельным багажным отделением.

Высокоскоростной юнифлэш был впервые представлен в 2018 г. на крупнейшей международной транспортной выставке Innotrans в Берлине. Летом 2019 г. в «ЭкоТехноПарке» начались первые испытания высокоскоростного юнифлэша. Были протестированы тяговая, тормозная, гидравлическая и пневматическая системы, системы управления и токосяема и другие.

Испытания осуществлялись на скоростях до 100 км/ч, так как короткая разгонная тестовая трасса (длиной около 900 м), имеющаяся в распоряжении компании uST (в строительстве более протяженной тестовой трассы —



Рис. 3. Двухкорпусный навесной высокоскоростной юнимобиль

21 км — дважды было отказано властями Минской области), не позволяет безопасно получить более высокую скорость. Для полноценного испытания высокоскоростного транспортного средства необходимо иметь 10 км для разгона, еще 10 км для торможения и хотя бы 1 км, чтобы двигаться с максимальной скоростью. Сейчас руководство компании UST рассматривает возможность строительства тестовой высокоскоростной трассы не только в Беларуси, но и в других более инновационных странах.

В настоящее время компания Unitsky String Technologies работает над совершенствованием конструкции юнифлэша. Новые рельсовые электромобили по всем ключевым параметрам значительно превосходят ранее разработанные. Проработан и предварительно рассчитан также двухкорпусный навесной высокоскоростной юнимобиль, включающий в себя два унифицированных модуля из однофюзеляжных скоростных юнимобилей

с использованием тяговых электродвигателей и токо-съемы с опорных колес (рис. 3).

В 2021 г. начата разработка высокоскоростного юнимобилля вместимостью 22 человека, с центральным проходом, багажным отделением и санузелом.

Таким образом, высокоскоростной транспортно-инфраструктурный комплекс uST как рыночный продукт принципиально нового типа характеризуется существенными конкурентными преимуществами перед другими известными и перспективными видами транспорта: высоким уровнем комфорта, безопасностью и энергоэффективностью, низкой ресурсоемкостью и стоимостью строительства. Струнный транспорт uST не нарушит экологичности тех территорий, по которым будет проходить, и уже в ближайшей перспективе способен существенно повысить мировую мобильность, в разы снизив себестоимость высокоскоростных грузопассажирских перевозок. **ИТ**

Список литературы

1. Юницкий А. Э., Цырлин М. И. Экологические аспекты струнного транспорта // Инновационный транспорт. 2020. № 2. С. 7–9. ISSN 2311–164X.
2. Юницкий А. Э., Гарах В. А., Цырлин М. И. Струнный транспорт для городских перевозок пассажиров // Наука и техника транспорта. 2021. № 3. С. 19–25. ISSN 2074–9325.
3. Юницкий А. Э., Тихонов Д. Н., Цырлин М. И. О перспективах развития струнного транспорта для грузовых перевозок // Инновационный транспорт. 2021. № 3. С. 7–10. ISSN 2311–164X.
4. Патент ЕА 031675. Высокоскоростной транспортный модуль (варианты) / Юницкий А. Э. № 201700220, заявл. 23.03.2017; опубл. 28.02.2019.
5. Юницкий А. Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе. Силакрогс : ПНБ принт, 2019. 576 с.
6. Юницкий А. Э. Инновационные транспортно-инфраструктурные технологии uST : альбом. Минск, 2021. 94 с.

References

1. Yunitskiy A. E., Tsyrlin M. I. Ecological aspects of skyway transport // Innotrans. 2020. No. 2. Pp. 7–9. ISSN 2311–164X.
2. Yunitskiy A. E., Garakh V. A., Tsyrlin M. I. String transport for urban passenger transportation // Science and technology of transport. 2021. No. 3. Pp. 19–25. ISSN 2074–9325.
3. Yunitskiy A. E., Tikhonov D. N., Tsyrlin M. I. On the prospects for the development of string transport for freight transport // Innovative Transport. 2021. No. 3. Pp. 7–10. ISSN 2311–164X.
4. Patent EA 031675. High-speed transport module (variants) / Yunitskiy A. E. No. 201700220, application 23.03.2017; publ. 28.02.2019.
5. Yunitskiy A. E. String transport systems: on Earth and in Space. Silacrogs : PNB print, 2019. 576 p.
6. Yunitskiy A. E. uST innovative transport and infrastructure technologies : album. Minsk, 2021. 94 p.