



БЕЛОРУССКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ТРАНСПОРТА
ТРАНСТЕХНИКА

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

Сборник статей

**Минск
2023**

*Юницкий Анатолий Эдуардович, доктор философии транспорта
Цырлин Михаил Иосифович, кандидат технических наук
ЗАО «Струнные технологии» (Беларусь, Минск),
e-mail: m.tsirlin@unitsky.com, 220089, г. Минск, ул. Железнодорожная, 33*

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОГО ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ТРАНСПОРТА

В работе представлено современное развитие высокоскоростного транспорта. Указаны его конструктивные особенности, возможности в повышении скорости до 500 км/ч и более. Дано сравнение преимуществ и недостатков трех типов высокоскоростного транспорта: железнодорожного на электрической тяге, магнитолевитационного и высокоскоростного струнного транспорта. В результате, показаны широкие возможности и перспективы развития высокоскоростного струнного транспорта как наиболее безопасного, экологически чистого и экономически эффективного.

Ключевые слова: высокоскоростной транспорт; железнодорожный транспорт на электрической тяге; магнитолевитационный транспорт; струнный транспорт; конструктивные особенности; эксплуатационные характеристики; скорость; экологическая безопасность; перспективы внедрения.

Снижение загрязнения окружающей среды, разгрузка железнодорожных дорог густонаселенных мегаполисов, урбанизация городов, рост городов-спутников, мобильность населения, экономия природных ресурсов, повышение надежности подвижного состава и транспортной безопасности при росте скоростей движения требуют ускоренного развития высокоскоростных видов транспорта.

Большую роль в перевозке пассажиров на дальние расстояния в середине – конце XX века выполнял железнодорожный транспорт, ориентированный на двигатели внутреннего сгорания. Серьезные недостатки такого транспорта – загрязнение окружающей среды и низкие скорости передвижения (до 120 км/ч) [1].

Дальнейшее развитие железнодорожного транспорта уже на электрической тяге (пригородные электропоезда, электровозы) увеличило маршрутную (среднюю) скорость подвижного состава, его провозную способность и одновременно существенно улучшало экологию [2]. Появились высокоскоростные поезда, способные в длительном режиме поддерживать скорость более 200 км/ч.

Сегодня более 20 стран мира (Япония, Франция, ФРГ, США, Россия, Канада, Австрия, Китай, Южная Корея и др.) имеют высокоскоростное пассажирское сообщение на традиционной системе «колесо – рельс» с электрическим приводом

Основными показателями высокоскоростного транспорта является максимальная и маршрутная скорость транспортного средства (ТС). Максимально достигнутые скорости на рельсовых поездах: 443,0 км/ч (1996 г., Япония, экспериментальный поезд «Shinkansen типа 955 (300X)»); 574,8 км/ч (2007 г., Франция, экспериментальный поезд «TGV V150») [3]. Фактическая эксплуатационная (коммерческая) скорость рельсовых поездов до сих пор ни в одной стране не превышала 300–320 км/ч.

Для рельсового транспорта с электрическим приводом существует предел скорости по нескольким техническим причинам:

- сцепление колеса с рельсом (коэффициент сцепления);
- токоосъем, т. е. прием электрической энергии от контактного провода на тяговые двигатели поезда.

На ограничение скорости влияют также: физико-механические свойства колеса и рельса, твердость, износостойкость, температура в зоне контакта «колесо–рельс», конструкция верхнего строения пути, радиусы кривых пути, подъемы (уклоны пути), допускаемые уровни шума. Добиваться технической скорости (максимальной) более 350 км/ч представляет большую сложность [4].

На смену классической высокоскоростной технологии на принципе «колесо – рельс» с электрическим приводом пришла технология с использованием эффекта магнитной левитации (от англ. «magnetic levitation») с линейным тяговым электродвигателем (ТЭД). Магнитолевитационные ТС в процессе движения не касаются путевого полотна. Вследствие этого исключается трение, при этом единственной тормозящей силой является сила аэродинамического сопротивления.

Применение транспортных систем по магнитолевитационной технологии целесообразно для:

- связи крупных городов, мегаполисов;
- разгона летательных аппаратов различного класса;
- запуска космических летательных аппаратов.

Наибольших результатов в создании магнитолевитационного транспорта добились в Германии – технология «Transrapid» и в Японии – технология «Maglev». В Китае германская система «Transrapid» реализована в Шанхае для соединения центра города с новым аэропортом. Линия протяженностью 30,5 км успешно эксплуатируется в коммерческом режиме с 2004 г. Поезд разгоняется до скорости 431 км/ч и удерживает ее на протяжении примерно 1,5–2 мин. [4]. В 2015 г. японский маглев установил рекордную скорость – 603 км/ч.

В настоящее время существуют следующие системы левитации:

- электростатическая;
- электродинамическая;
- на постоянных магнитах (рис. 1).

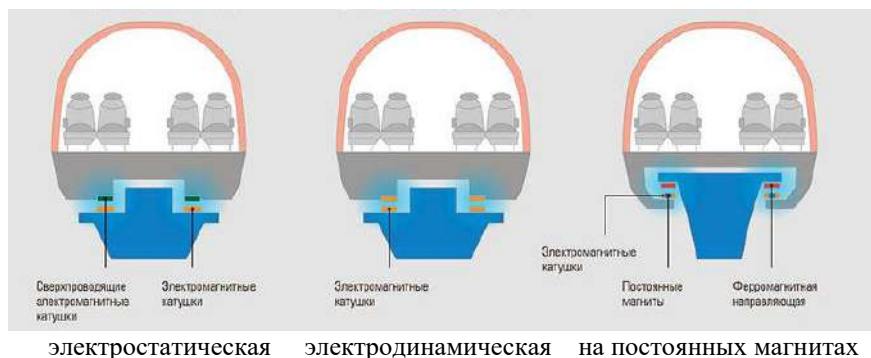


Рис. 1. Системы левитации

Преимущества и недостатки магнитолевитационного транспорта представлены в табл. 1 [5–7].

Таблица 1

Преимущества и недостатки магнитолевитационного транспорта

Преимущества	Недостатки
<ul style="list-style-type: none"> • высокая скорость; крейсерская скорость может достигать 1000 км/ч и более; • низкий уровень шума; при скорости 400 км/ч соответствуют шумам рельсового поезда, движущегося со скоростью 80 км/ч; • быстрое ускорение и короткий тормозной путь; • эстакадная бесперекрестная путевая структура; • бесконтактная магнитная левитация увеличивает ресурс ТС; • исключение схода с путевой структуры. 	<ul style="list-style-type: none"> • высокая стоимость эстакады, левитирующего полотна, подвижного состава, транспортной инфраструктуры, обусловленная сложностью и дороговизной систем магнитной левитации и линейного электропривода; • высокая себестоимость проезда и длительный период окупаемости; • создаваемые магнитной подвеской и линейным электроприводом мощные электромагнитные поля вредны для пассажиров, поездных бригад и окрестных жителей; • линии маглева опасны для здоровья людей, использующих кардиостимуляторы.

По прогнозам развития транспорта спрос на пассажирские перевозки высокоскоростным транспортом в мире к 2050 г. увеличится почти в 3 раза [8]. Существенную нишу возникшего мирового спроса планируется восполнить инновационными ТС, в т. ч. струнным транспортом uST (Unitsky String Technologies). В нём беспилотные навесные и подвесные ТС в виде рельсовых электромобилей на стальных колёсах перемещаются за счёт электрической тяги по неразрезной предварительно напряжённой рельсо-струнной путевой структуре эстакадного типа [9, 10]. Данная технология в настоящее время воплощается белорусской компанией ЗАО «Струнные технологии» в ЭкоТехноПарке (Марьина Горка, Республика Беларусь) и в Центре тестирования и сертификации uST (Шарджа, Объединенные Арабские Эмираты). Группой компаний uST к настоящему моменту разработано несколько моделей высокоскоростных ТС для струнных трасс, одно из которых представлено на рис. 2 [11].



Рис. 2. Высокоскоростное транспортное средство юнифлэш U4-362, г. Марьина Горка, 2020 г.

Высокоскоростное транспортное средство струнного транспорта содержит кузов обтекаемой формы с плавно сопряженными между собой передней и задней частями. Передняя и задняя части кузова выполнены конусообразными с образующими, представленными криволинейными со знакопеременной кривизной. При этом угол между осью кузова и касательной к образующей в продольном сечении как передней, так и задней части кузова не превышает 30° [12]. Это позволило существенно оптимизировать обтекание кузова набегающим воздушным потоком с минимальными значениями сопротивления, значительно снизив коэффициент аэродинамического сопротивления до 0,06 (рис. 3). Уникальная аэродинамика позволяет значительно повысить скорость ТР, снизить потребление энергии [13].



Рис. 3. Юнифлэш на продувке в аэродинамической трубе

Высокоскоростной струнный транспорт обладает рядом конструктивных особенностей, обеспечивающих существенные преимущества перед описанными выше транспортными средствами (таблица 2).

Таблица 2

Конструктивные особенности струнного транспорта uST

Особенности	Преимущества
Размещение ажурной рельсострунной путевой структуры над землей	1) устраняется эффект экрана дорожного полотна, при этом значительно (в несколько раз) улучшается аэродинамика транспортного средства; 2) сводится к нулевому уровню аварийность перевозок пассажиров за счёт отсутствия пересечения струнных трасс с автомобильными и железнодорожными путями; 3) обеспечивается минимальный землеотвод под строительство (0,05–0,1 га/км трассы, что требует в 30–50 раз меньше земли, чем для строительства железнодорожных магистралей; 4) не нарушается рельеф местности, биогеоценоз и биоразнообразие прилегающих территорий, не уничтожается плодородная почва и произрастающая на ней растительность, не препятствуя естественному движению грунтовых и поверхностных вод, перемещению людей, домашних и диких животных, сохраняя исторически сложившиеся пути их миграций [14].
Неразрезная предварительно напряжённая рельсо-струнная путевая структура	1) низкая материалоемкость (ресурсоёмкость) элементов конструкции; 2) значительный запас прочности – в разы – несущих струнных элементов; 3) устойчивость эстакады к неблагоприятным природно-климатическим (землетрясения, наводнения, цунами, штормовой ветер, туман, снежные и песчаные заносы, проливные дожди, гололедица и т.д.) и техногенным факторам (вандализм, террористические акты и др.); 4) прямолинейность и плоскостность бесстыковой головки струнного рельса обеспечивает возможность двигаться ТС с высокой скоростью.
Уникальная форма рельсовых электромобилей на стальных колесах	1) лучшая аэродинамика среди транспортных средств (низкий коэффициент аэродинамического сопротивления не выше 0,06); 2) эффективная система опирания подвижного состава на путевую структуру – стальное колесо по стальному рельсу с КПД 99,8 %, что в разы эффективнее электродинамической магнитной подушки; 3) низкий расход электрической энергии (в 2–3 раза ниже по сравнению с железнодорожным на электрической тяге и магнитолевитационного).

Улучшение конструктива контакта «стальное колесо – стальной рельс» (опирание цилиндрического колеса на плоскую головку рельса вместо схемы «конус – цилиндр» на железной дороге), уменьшение массы колеса на порядок и исключение колесных пар как таковых (каждое колесо в электромобиле uST имеет независимую подвеску), снижение нагрузки на колесо и контактных напряжений в паре «колесо – рельс» в 3–4 раза, улучшение аэродинамических качеств и энергоэффективности подвижного состава в 2–3 и более раз, исключение пантографа в системе токопередачи (токосъём осуществляется через колеса электромобиля, т. е. через контакт качения, а не скольжения) и другие отличия, наряду со снижением стоимости строительства транспортной системы и себестоимости перевозок в 2–3 раза, позволяют прогнозировать очевидные преимущества uST в сравнении с высокоскоростной железной дорогой на высоких скоростях движения, вплоть до 500–600 км/ч.

Таким образом, струнный транспорт, имеющий ряд неоспоримых преимуществ перед альтернативными (традиционными) видами транспорта по энергоэффективности, экологичности, безопасности, экономической эффективности, способен удовлетворить потребность в высокоскоростных перевозках. Транспорт uST снизит загрязнения окружающей среды, разгрузит железнодорожные дороги густонаселенных мегаполисов, повысит

мобильность населения, экономит природные ресурсы, повысит надежность транспортных средств и безопасность передвижения.

1. Киселев И.П. Высокоскоростной железнодорожный транспорт и перспективы его развития // Транспорт Российской Федерации. 2012. № 3–4. С. 61–64.
2. Боравская Е.Н., Шапилов Е.Д. Использование электрической тяги для скоростного высокоскоростного железнодорожного транспорта // Скоростной и высокоскоростной железнодорожный транспорт. 2001. Т. 1. С. 176–177.
3. Новый мировой рекорд скорости на рельсах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/374951/>. – Дата обращения: 16.09.2023.
4. Антонов Ю.Ф., Зайцев А.А. Магнитолевитационная транспортная технология. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014. 476 с.
5. Киселев И.П. Высокоскоростной железнодорожный транспорт: современные вызовы и перспективы развития // Железнодорожный транспорт. 2013. № 6. С. 58–70.
6. Антонов Ю.Ф. Магнитолевитационный транспорт: научные проблемы и технические решения. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2015. 612 с.
7. Высокоскоростной магнитный транспорт с электродинамической левитацией / В.А. Дзензерский [и др.]. Киев: Наукова думка, 2001. 480 с.
8. Галабурда В. Г., Соколов Ю.И., Королькова Н.В. Управление транспортной системы. М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2016. 343 с.
9. Юницкий А. Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе. Силакрогс: ПНБ принт, 2019. 576 с.
10. Юницкий А.Э., Гарах В.А., Цырлин М.И. Струнный транспорт для городских перевозок пассажиров // Наука и техника транспорта. 2021. № 3. С. 19–25.
11. Высокоскоростной струнный транспорт uST для перевозки пассажиров: преимущества и перспективы развития / А.Э. Юницкий [и др.] // Инновационный транспорт. 2022. № 2. С. 3–7.
12. Патент ЕА на изобретение № 031675. Высокоскоростной транспортный модуль (варианты) / А.Э. Юницкий. № 201700220, заявл. 23.03.2017; опубл. 28.02.2019.
13. Оптимизация аэродинамических характеристик высокоскоростного юнимобили струнного транспорта Юницкого / А.Э. Юницкий [и др.] // Инновационный транспорт. 2022. № 3. С. 3–11.
14. Юницкий А.Э., Цырлин М.И. Экологические аспекты струнного транспорта // Инновационный транспорт. 2020. № 2. С. 7–9.

Anatoli Unitsky, PhD in Transport

Michael Tsyrlin, candidate of technical sciences

Unitsky String Technologies, Inc. (Belarus, Minsk),

e-mail: m.tsirlin@unitsky.com, 220089, Minsk, Zheleznodorozhnaya st., 33

TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF MODERN HIGH-SPEED TRANSPORT

The paper presents the modern development of high-speed transport, with design features, capabilities of increasing speed up to 500 km/h or more. Comparison of the advantages and disadvantages of three types of high-speed transport is given: railway on electric traction, magnetic levitation and high-speed string transport. As a result, wide opportunities and prospects for the development of high-speed string transport as the safest, environmentally friendly and cost-effective transport are showcased.

Keywords: high-speed transport; railway transport on electric traction; magnetic levitation transport; string transport; design features; performance characteristics; speed; environmental safety; implementation potential.