



ISSN 1818-1112

№ 2(131)

Научно-практический журнал  
Scientific and practical journal

# ВЕСТНИК

Брестского государственного  
технического университета

# VESTNIK

Brest State  
Technical University

[WWW.BSTU.BY](http://WWW.BSTU.BY)

DOI 10.36773/1818-1112-2023-131-2

## ТРАНСПОРТНО-ИНФРАСТРУКТУРНЫЕ РЕШЕНИЯ UST КАК ПЕРСПЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ

А. Э. Юницкий<sup>1</sup>, С. В. Артюшевский<sup>2</sup>, А. Г. Климков<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Д-р философии транспорта (PhD in Transport), генеральный конструктор ЗАО «Струнные технологии», Минск, Беларусь, e-mail: a@unitsky.com

<sup>2</sup> М. т. н., заместитель генерального конструктора ЗАО «Струнные технологии», Минск, Беларусь, e-mail: s.artushkevskiy@unitsky.com

<sup>3</sup> К. э. н., начальник научно-исследовательского отдела ЗАО «Струнные технологии», Минск, Беларусь, e-mail: a.klimkov@unitsky.com

### Реферат

Предметом исследования в настоящей работе выступают транспортно-инфраструктурные решения uST – инновационные разработки, созданные на основе научных идей, изобретений и патентов белорусского инженера, изобретателя Анатолия Эдуардовича Юницкого. В ходе проведения исследования: кратко описаны структурные элементы данных транспортных комплексов и их конструктивных особенностей; отражены результаты сравнительного анализа и оценки показателей функционирования uST с традиционными транспортными системами. Также сформулированы перспективные области применения технологии, роль uST в науке и социально-экономическом развитии стран и регионов. Сделан обоснованный вывод о том, что внедрение транспортно-инфраструктурных решений uST как альтернативы традиционным транспортным системам способно послужить драйвером инновационного и социально-экономического развития на любом из её уровней (микро-, макро-, мезо-).

**Ключевые слова:** транспортно-инфраструктурные решения uST, транспортная система, рельсо-струнная эстакада, подвижной состав, автоматизированная система управления, транспортная безопасность, экономическая эффективность, социально-экономическое развитие.

## UST TRANSPORT AND INFRASTRUCTURE SOLUTIONS AS A PROMISING DIRECTION OF INNOVATIVE DEVELOPMENT

A. E. Unitsky, S. V. Artyushevskiy, A. G. Klimkov

### Abstract

The subject of research in this paper is uST transport and infrastructure solutions - innovative developments created on the basis of scientific ideas, inventions and patents of the Belarusian engineer, inventor Anatoly Unitsky. In the research: the structural elements of these transport complexes and their design features are briefly described; the results of a comparative analysis and evaluation of uST performance indicators with traditional transport systems are reflected. Promising areas of technology application, the role of uST in science and socio-economic development of countries and regions are also formulated. A reasonable conclusion is made that the introduction of uST transport and infrastructure solutions as an alternative to traditional transport systems can serve as a driver of innovative and social and economic development of the system at any of its levels (micro-, macro-, meso-).

**Keywords:** uST transport and infrastructure solutions, transport system, rail-string overpass, rolling stock, automated control system, transport safety, economic efficiency, socio-economic development.

### Введение

Согласно [1], ещё в 2019 г. протяжённость только автомобильных дорог в мире составляла 64,3 млн км. При усреднённой ширине твёрдого покрытия, равной 10 м, площадь лишь дорожного полотна автомобильных дорог на планете составляет не менее 640 тыс. кв. км, что в три раза превышает площадь Республики Беларусь. В то же время, в нашей стране только с 1991 по 2011 г. общее количество автомобилей в целом увеличилось в 4 раза, что вызвало ряд проблем, связанных с увеличением нагрузки на улично-дорожную сеть, особенно в городах; снизилась скорость сообщения, ухудшились режимы движения, появились перегрузки, возросло количество аварий и т. д. [2]. Кроме того, согласно официальным данным Национального статистического комитета Республики Беларусь, если на конец 2005 г. в личной собственности граждан числилось 1737,1 тыс. шт. легковых автомобилей, то на конец 2021 г. – 2998,9 тыс. шт. [3, 4]. С учётом численности населения страны за указанный период [5], количество личных легковых автомобилей на 10 жителей страны увеличилось с 1,80 до 3,24, или почти вдвое.

В результате, в связи с резким ростом количества автомобилей, в стране изменилась среда дорожного движения и соответствующие условия, возросла транспортная нагрузка. В то же время, организационно-управленческая составляющая (организация движения, обслуживание движения, использование инновационных видов транспортных систем, разгрузка транспортного движения на «1-м уровне» и др.) крайне медленно адаптируется к возросшей нагрузке и требует совершенствования [2].

Обозначенная ситуация при этом характерна не только для нашей страны; она в целом отражает состояние и актуальную проблематику в мировой транспортной отрасли.

Например, согласно данным Всемирной организации здравоохранения, ежегодно в мире в результате ДТП и их последствий погибает около 1,3 миллиона человек, при этом более 10 млн человек получают травмы, становятся инвалидами и калеками. Усреднённая величина ущерба, которую несёт планета в результате дорожно-транспортных происшествий, достигает 3 % от мирового валового внутреннего продукта [6].

В результате, имеются основания полагать, что существующие уже не одно столетие традиционные виды транспорта и осуществляемые ими перевозки грузов и пассажиров к настоящему времени практически исчерпали свои возможности развития и всё больше нуждаются в инновационных решениях. Такие показатели, как транспортная безопасность, доступность услуг (стоимость проезда, перевозки), экологичность, автоматизация, быстрота возведения транспортно-инфраструктурных комплексов, стоимость эксплуатации – одни из основных, которые требуют совершенствования в транспортной отрасли [7].

В этой связи одним из перспективных и инновационных видов транспорта, представляющих собой комплексное решение проблем как в транспортной, так и в ряде иных отраслей (строительная, агро- и биологическая, материаловедение и некоторые другие), и способным решить ряд вышеперечисленных вопросов, является струнный транспорт Юницкого (далее по тексту – uST), созданный на основе научных идей, изобретений и запатентованных разработок белорусского инженера, изобретателя Анатолия Эдуардовича Юницкого.

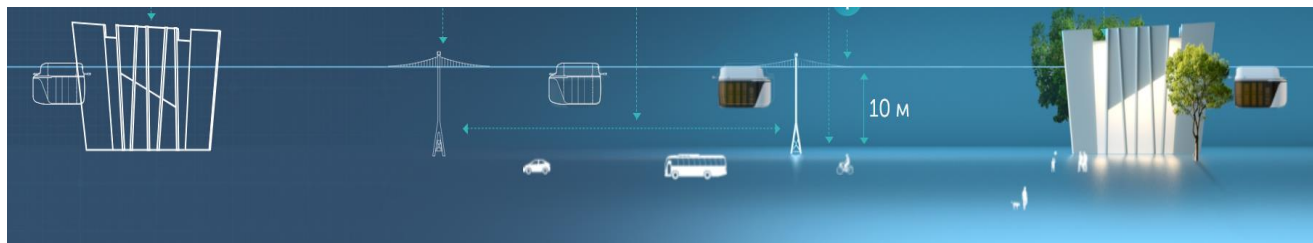
**Описание технологии uST и ключевых элементов транспортно-инфраструктурного комплекса «второго уровня»**

Транспортно-инфраструктурные решения uST – это транспортные коммуникации в эстакадном исполнении, где перевозка пассажиров и грузов осуществляется в автоматизированном режиме на высоте от 6 м над уровнем земли по рельсо-струнной путевой структуре (система «второго уровня»). Включает следующие главные структурные элементы [8]:

- предварительно напряжённая рельсо-струнная транспортная эстакада;
- беспилотные рельсовые электромобили на стальных колёсах (юнимобили);
- автоматизированная система управления (АСУ);

– объекты инфраструктуры на «втором уровне» (пассажиры станции, грузовые терминалы, стрелочные переводы, ремонтные мастерские, технические и технологические помещения, иное), в т. ч. сопутствующие (коммерческие площади в составе функциональных зданий, энергосети и т. п.).

Новизна решений uST заключается в том, что транспортно-инфраструктурные объекты комплекса размещены на «втором уровне» с применением комплексных подходов к минимизации энерго- и ресурсозатрат для его функционирования и повышению экологичности. Инновационность применяемых технологий заключается в конструктивных особенностях рельсовых электромобилей, предварительно напряжённых путевых структур и АСУ на основе технологий искусственного интеллекта. Визуализация uST в экосистеме (жизнедеятельности человека) представлена в виде рисунка 1.



**Рисунок 1** – Визуализация транспортно-инфраструктурного решения uST [9]

Решения uST основаны на технологии создания предварительно напряжённых транспортных эстакад, ключевым элементом которых выступает струнный рельс. Он представляет собой неразрезную по длине стальную, железобетонную или сталежелезобетонную балку, в сердцевине которой расположены растянутые струны. Рабочая поверхность рельса оснащается головкой, по которой в автоматическом режиме на скоростях до 500 км/ч движутся пассажирские и грузовые электромобили на стальных колёсах, получившие название юнимобиль (на англ. uPod).

Составляющими предварительно напряжённой рельсо-струнной эстакады являются:

- анкерные опоры;
- промежуточные опоры;
- балки переменной жёсткости (сёдла);
- предварительно напряжённая рельсо-струнная путевая структура (монорельсовая, бирельсовая, квадратрельсовая, подвесная или навесная);
- контактная сеть и система электроизоляторов (изоляция рельсов друг от друга от опор и опорных узлов).

**Струнный рельс** сочетает в себе свойства гибкой нити (на большом пролёте между опорами) и жёсткой балки (на малом пролёте – под колесом рельсового автомобиля и над опорой). При этом плоская головка рельса и цилиндрическое стальное колесо обеспечивают минимальные затраты энергии на движение.

В качестве наиболее значимых преимуществ рельсо-струнной транспортной эстакады uST в целом следует отметить:

- высокая прочность и ровность пути;
- простота изготовления;
- низкая материалоемкость (ресурсоёмкость) и стоимость;
- возможность эксплуатации при экстремальных температурах (от -60 до +60 °C);
- низкое значение собственного веса эстакады (около 10 % от расчётной подвижной нагрузки, тогда как в обычной эстакаде – более 90 %);
- при одинаковой распределённой нагрузке неразрезная (без температурных швов и стыков) эстакада uST в 5 раз жёстче и в 3 раза прочнее традиционного балочного моста (при одинаковой сосредоточенной силе – в 1,9 и в 1,5 раза соответственно);
- высокая надёжность и долговечность (срок эксплуатации до капитального ремонта – от 50 лет).

**Подвижной состав uST** представляет собой беспилотные навесные и подвесные транспортные средства в виде рельсовых электромобилей на стальных колёсах (юнимобилей), которые перемещаются за счёт электрической тяги по рельсо-струнной путевой структуре.

Струнный транспорт развивается в двух основных направлениях: пассажирский транспорт (городской со скоростью перемещения до 150 км/ч и высокоскоростной междугородний – до 500 км/ч) и грузовой (скорость до 150 км/ч). Конструктивные особенности подвижного состава uST и их преимущества отражены в таблице 1.

**Таблица 1** – Преимущества конструктивных особенностей подвижного состава uST

| № п/п, конструктивные особенности                                | Преимущества   |
|--|--|
| 1. Высокая аэродинамичность юнимобилей                           | – Значение коэффициента аэродинамического сопротивления составляет 0,06 (для автомобиля Tesla Model S – 0,24)<br>– Минимальное потребление электроэнергии<br>– Возможность разогнаться до 500 км/ч (расход топлива при этом 0,93 кг/100 чел.×км)   |
| 2. Стальное наборное колесо из пластин с амортизационной частью* | – Незначительные контактные напряжения (менее 200 МПа) ввиду широкого (по ширине головки рельса) пятна контакта<br>– Тормозные механизмы и АБС не допускают блокировку колес<br>– Минимальные нагрузки на колесо<br>– Минимальный и симметричный износ головки рельса<br>– Низкое значение сопротивления качению колеса ввиду узкого пятна контакта и низкого коэффициента сопротивления качению (0,001)<br>– В случае разрушения от динамической нагрузки одной из наборных пластин колеса, юнимобиль способен к дальнейшему передвижению без схода с путевой структуры |
| 3. Токосъём с колеса   | – Электрический контакт качения значительно уменьшает износы, искрение и радиоизлучение в широком диапазоне частот и иные недостатки традиционных контактных сетей скольжения  |
| 4. Подвесной и навесной подвижной состав «второго уровня»        | – Рациональное использование земли и ресурсов, сведение до минимума наносимого транспортом вреда окружающей среде<br>– Исключение пересечения движения юнимобилей uST с дорогами общего пользования, повышение безопасности передвижения<br>– Устранение эффекта аэродинамического экрана путём поднятия электромобиля над землёй и отказа от сплошного дорожного полотна  |

Продолжение таблицы 1

| № п/п, конструктивные особенности          | Преимущества  |
|--|---|
| 5. Электродвигатели на постоянных магнитах | – Двигатель имеет КПД на 2 % больше по сравнению с асинхронным электродвигателем аналогичной конструкции<br>– Лучшие значения комбинаций показателей: мощность/объём, момент/инерция  |
| 6. АСУ и виртуальная сцепка                | – Управление в автоматическом режиме без присутствия водителя (оператора)<br>– Непрерывное считывание информации с путевой структуры, опор, юнимобилей и др. участников движения, мгновенное реагирование на препятствия и угрозы, полный контроль маршрута и скорости движения юнимобилей, обмен данными в режиме реального времени, координация процессов посадки и высадки пассажиров, адаптация интервалов движения под пассажиро- (грузопоток), исключение человеческого фактора, аварийности, дорожных пробок и т. д. |
| 7. Стабилизация движения                   | – Механическая и электронная системы стабилизации движения колёс автоматически возвращает траекторию движения юнимобилей в штатное положение<br>– Прохождение юнимобилем радиусных участков без подруливания тяговых тележек, что позволяет снизить массу юнимобилей до 2 % и упростить кинематику подвески   |

### Автоматизированная система управления (АСУ)

Одним из направлений повышения логистической эффективности uST является минимизация расстояния между рельсовыми электромобилями, движущимися с максимально допустимой скоростью, с обеспечением безопасности, что возможно только при условии точного определения местоположения и параметров движения всех юнимобилей и наличия надёжной и стабильной системы связи между ними и АСУ.

Система управления комплексом включает в себя следующие подсистемы:

- центральная система управления (ЦСУ), предназначенная для управления всеми электромобилями и автоматизированными объектами инфраструктуры, формирования безопасного графика движения;
- бортовая система управления (БСУ), предназначенная для управления всеми бортовыми подсистемами юнимобилей;
- автоматизированные объекты инфраструктуры и дополнительные системы обеспечения функционирования транспортно-инфраструктурного комплекса uST для обеспечения безопасного функционирования и комфортной перевозки пассажиров и грузов.

Классические системы управления транспортными средствами, движущимися по выделенным путевым структурам, полагаются в основном на рельсовые цепи обнаружения присутствия данных транспортных средств на фиксированных участках путевой структу-

ры. Такие традиционные системы эффективны в обеспечении управления движением поездов, но неэффективны для обеспечения использования потенциала инфраструктуры транспортными средствами uST из-за ряда фундаментальных ограничений. Основным из них является то, что расположение юнимобилей может быть определено только с дискретностью, определяемой длиной рельсовых цепей: если на рельсовом пути присутствует электромобиль, то система предполагает, что вся рельсовая цепь занята этим подвижным составом.

Инновационная АСУ uST, реализованная на функциональных решениях системы управления поездами на основе телекоммуникации (СВТС), позволяет обеспечивать безопасное движение на близком расстоянии, что даёт большую гибкость и точность в управлении данным транспортным комплексом. Использование данной технологии повышает надёжность и снижает затраты на техническое обслуживание систем управления за счёт уменьшения количества оборудования и увеличения объёма диагностической информации, передаваемой в реальном масштабе времени.

С целью обеспечения инновационности и эффективности транспортно-инфраструктурных решений uST, в АСУ, построенной на основании СВТС, реализованы следующие функциональные решения (таблица 2).

Таблица 2 – Функциональные решения uST в рамках АСУ

| №, функциональное решение   | Особенность  |
|---|--|
| 1. Высокоточное определение местоположения электромобилей uST подсистемой АСУ         | Достигается получением информации от следующих сенсоров: одометра, GPS (в т. ч. в режиме RTK), RFID-меток, пары «магнит – датчик Холла» – для высокоточного позиционирования в особых местах, системы компьютерного зрения uST (камеры + лидар) на основании цифровой карты местности (Simultaneous Localization And Mapping – SLAM), системы компьютерного транспортного комплекса (камеры) |
| 2. Установка границ полномочий на движение и определение точки прицельного торможения | Достигается путём анализа статуса трассы перед uST, определения местоположения впереди идущего юнимобилей и/или местоположения и статуса управляемых элементов путевой структуры (стрелки, ворота и т. п.)   |
| 3. Определение профиля ATP  | Построение профиля (automatic train protection – ATP) производится на основании информации об ограничениях скорости на участках трассы конкретного юнимобилей в текущих условиях, расположения точки прицельного торможения и математической модели торможения   |
| 4. Контроль и обеспечение соблюдения разрешённой скорости и направления движения      | Реализация данной функции заключается в постоянном контроле фактической скорости и направления движения юнимобилей профиля ATP   |
| 5. Блокировки управления дверьми  | Реализация функции позволяет не допустить несанкционированное открытие дверей и платформы  |
| 6. Определение профиля АТО  | Расчёт профиля (automatic train operation – АТО) производится на основании графика движения юнимобилей и условия не превышения профиля ATP   |

Реализация в АСУ указанных функциональных решений в полной мере позволяет обеспечивать безопасные перевозки пассажиров и грузов в транспортных системах uST.

**Инфраструктура «второго уровня»** транспортного комплекса uST включает в себя рельсо-струнную эстакаду, участки маневрирования, пассажирские станции, грузовые терминалы, зону технического обслуживания (депо), комплекс энергоснабжения (в т. ч. контактную сеть), диспетчерскую, систему автоматического управления и связи, инженерные сети и оборудование (включая стрелочные переводы), в совокупности обеспечивающие работу комплекса, а также безопасное движение беспилотных юнимобилей.

В связи с особенностями технологии uST основная часть указанных транспортно-инфраструктурных объектов расположена над землёй, на «втором уровне». Благодаря такому размещению основных элементов комплекса сооружения гармонично вписываются в существующую среду и инфраструктуру населённых пунктов без существенного вмешательства в неё – с точечным опиранием на землю (без протяжённых земляных насыпей и выемок, транспортных развязок, водопропускных сооружений и др.).

Вне городской среды для сооружений второго уровня требуется минимальный объём земляных работ и точечный землеотвод под строительство слабонагруженных (в сравнении с традиционными транспортными эстакадами) опор рельсо-струнной эстакады.

Для анализа и оценки преимуществ инновационных решений uST перед иными транспортными системами далее проведён сравнительный анализ по таким составляющим, как:

- энергоэффективность;
- экологичность;
- ресурсо- и материалоемкость;
- транспортная безопасность;
- экономическая эффективность.

#### Энергоэффективность

В качестве подтверждения энергоэффективности uST в таблице 3 представлено удельное энергопотребление различных транспортных систем в пересчёте на первичную энергию (для электрифицированных систем — на топливо, расходуемое тепловой электростанцией, с учётом потерь энергии в электрических сетях и др. потерь).

**Таблица 3** – Сравнение удельного энергопотребления uST и традиционных транспортных систем [10, 11]

| Транспортное средство  | Расход топлива, л/100 пасс. км | Потребление вторичной энергии, ватт·ч/пасс. км | КПД перевода первичной энергии во вторичную, % | Потребление первичной энергии, ватт·ч /пасс. км |
|--|--------------------------------|--|--|---|
| Электрический юнибус городской бирельсовый навесной (12 пасс.)                   | –                              | 5,9  | 33,5   | 18  |
| Электрический юнибус городской подвесной монорельсовый (12 пасс.)                | –                              | 2,1  | 33,5   | 6,3   |
| Юнибус скоростной междугородний (500 км/час, 1 пасс.)                            | –                              | 19,9   | 33,5   | 59  |
| Легковой автомобиль (в среднем 1,7 пасс., 100 км/час)                            | 5,35                           | 178  | 90,5   | 197   |
| Автобус (в среднем 80 % занятых мест, 60 км/час)                                 | 0,71                           | 23,7   | 90,5   | 26,2  |
| Самолёт (в среднем 70 % занятых мест, 900 км/час)                                | 5,30                           | 177  | 92,0   | 192   |
| Скоростной поезд, 10 вагонов (160 км/час)  | –                              | 50   | 33,5   | 149   |
| Высокоскоростной поезд, 14 вагонов (250 км/час)                                  | –                              | 61   | 33,5   | 182   |
| Высокоскоростной поезд на магнитном подвесе "Transrapid", 5 вагонов (430 км/час) | –                              | 176  | 31,0   | 568   |

Анализ данных, представленных в таблице 3, показывает, что uST является наиболее энергоэффективной транспортной системой. Это обеспечивается благодаря конструктивным особенностям, указанным в таблице 1, которые дают значительную экономию энергии: расход условного топлива на одного пассажира на 100 км пути при скорости 100 км/ч согласно подтверждённым данным составляет 0,2 кг.

#### Экологичность

В таблице 4 представлены основные сравнительные характеристики транспортных систем в области экологичности, подтверждающие ряд преимуществ uST перед иными транспортными системами.

**Таблица 4** – Основные экологические характеристики транспортных систем [11]

| Вид транспорта  | Удельный расход энергоресурсов (в литрах бензина на 100 пасс.·км или т·км) |                    | Выбросы вредных веществ, кг/100 пасс.·км (или 100 т·км) | Изъятие земли под транспортную систему, га/100 км |
|---|--|--------------------|---|---|
|   | Пассажирские перевозки   | Грузовые перевозки |   |   |
| 1. Железнодорожный (80 км/час):   |  |                    |   |   |
| – магистральный   | 1,1–1,4  | 0,7–1,0            | более 0,1   | 300–400   |
| – пригородный   | 1,2–1,5  | 0,9–1,4            | более 0,1   | 300–400   |
| – городской:  |  |                    |   |   |
| – метрополитен  | 1,3–1,7  | –                  | более 0,1   | –   |
| – трамвай   | 1,9–2,1  | –                  | более 0,1   | 50–100  |
| 2. Автомобильный:   |  |                    |   |   |
| – автомобиль  |  |                    |   |   |
| – в городе (средняя загрузка 1,6 пасс., средняя скорость 15–20 км/час)    | 4,7–6,3  | 6,6–11,1           | более 1   | 200–300   |
| – вне города (средняя загрузка 3,5 пасс., средняя скорость 80–100 км/час) | 1,5–1,7  | 5,1–9,2            | более 1   | 300–500   |
| – автобус   |  |                    |   |   |
| – в городе (средняя скорость 15–20 км/час)                                | 2,1–2,3  | –                  | более 1   | 200–300   |
| – вне города (средняя скорость 40–60 км/час)                              | 1,4–1,7  | –                  | более 1   | 300–500   |
| – троллейбус (средняя скорость 15–20 км/час)                              | 1,9–2,5  | –                  | более 0,1   | 200–300   |
| 3. Авиационный:   |  |                    |   |   |
| – дальняя авиация (900 км/час)  | 6–10   | 50–75              | более 10  | 20–50   |
| – местная авиация (400 км/час)  | 14–19  | 150–200            | более 50  | 10–20   |
| 4. Морской (30 км/час)  | 17–19  | 0,38–0,95          | более 10  | 5–10  |
| 5. Речной (30 км/час)   | 14–17  | 0,57–1,4           | более 10  | 2–3   |
| 6. Нефтепроводный магистральный (10 км/час)                               | –  | 0,51–0,57          | более 1   | 50–100  |
| 7. Газопроводный магистральный (10 км/час)                                | –  | 5,7–6,1            | более 1   | 50–100  |
| 8. Конвейерный (10 км/час)  | –  | 4,7–9,2            | более 1   | 50–100  |
| 9. Гидротранспорт (10 км/час)   | –  | 2,3–4,7            | более 1   | 50–100  |
| 10. Канатно-подвесные дороги (20 км/час)                                  | 0,3–0,5  | 0,95–1,9           | более 1   | 20–30   |

Продолжение таблицы 4

| Вид транспорта  | Удельный расход энергоресурсов (в литрах бензина на 100 пасс.×км или т×км) |                    | Выбросы вредных веществ, кг/100 пасс.×км (или 100 т×км) | Изъятие земли под транспортную систему, га/100 км |       |
|---|--|--------------------|---|---|-------|
|   | Пассажирские перевозки   | Грузовые перевозки |   |   |       |
| 11. Поезд на магнитном подвесе (400 км/час)   | 3,5–4,5  | –                  | более 1   | 100–200   |       |
| 12. Высокоскоростная железная дорога (300 км/час)   | 2,5–3,5  | –                  | более 1   | 300–500   |       |
| 13. Монорельс (50 км/час)   | 1,5–2,5  | –                  | более 1   | 50–100  |       |
| 14. Электрифицированный струнный транспорт uST (пассажирский модуль – 20 мест, грузовой – 10 т груза) при скорости: | – 100 км/ч (мощность 30 кВт)   | 0,3                | 0,6   | менее 0,001                                       | 10–20 |
|   | – 200 км/ч (мощность 70 кВт)   | 0,35               | 0,7   | менее 0,001                                       | 10–20 |
|   | – 300 км/ч (мощность 150 кВт)  | 0,5                | 1,0   | менее 0,001                                       | 10–20 |
|   | – 400 км/ч (мощность 300 кВт)  | 0,75               | 1,5   | менее 0,001                                       | 10–20 |
|   | – 500 км/ч (мощность 450 кВт)  | 0,9                | 1,8   | менее 0,001                                       | 10–20 |

Струнный транспорт имеет следующие основные преимущества в части экологичности:

- сохранение природных экосистем и биогеоценозов под дорогой, имеющей точечные опоры на землю;
- сохранение путей миграции животных и гидрологии почвы (движение поверхностных и грунтовых вод);
- использование электроэнергии в качестве топлива и её низкий расход;

– отсутствие выхлопных газов, продуктов износа шин и асфальта;

- низкий уровень шума (не более 75 дБ);
- движение транспортных средств над землёй, исключающее пробки и выделение значительного количества токсичных веществ;
- отсутствие необходимости применения при обслуживании путевой структуры противогололёдных солей, опасных для окружающей среды и организма человека и др.

Указанные особенности создают возможность использования транспортно-инфраструктурных комплексов uST даже в регионах с повышенными экологическими требованиями.

**Ресурсоёмкость и материалоемкость**

Одной из характерных особенностей транспортно-инфраструктурных решений uST является низкая ресурсо- и материалоемкость, что подтверждается как представленной выше информацией, так и данными таблицы 5.

**Таблица 5** – Сравнение показателей ресурсо- и материалоемкости функционирования uST (приняты за 100 %) и иных транспортных систем [11]

| Транспортная система       | Объём перемещаемого грунта при строительстве трассы с инфраструктурой, % | Расход материалов на строительство трассы и инфраструктуры и изготовление подвижного состава, % |
|----------------------------|--|---|
| uST                        | 100  | 100   |
| Монорельсовая дорога       | 200–500  | 1000–1500   |
| Поезд на магнитном подвесе | 400–600  | 1500–2000   |
| Автомобильный транспорт    | 3000–5000  | 2000–3000   |
| Железнодорожный транспорт  | 4000–6000  | 1000–1500   |

Уменьшение объёма перемещаемого грунта при строительстве uST достигается за счёт:

- отсутствия выемок, насыпей, мостов, путепроводов, подпорных стенок, водопропускных труб и других инженерных сооружений;
- уменьшения размера и глубины залегания фундаментов опор благодаря уменьшению нагрузок на опоры; применению инфраструктуры второго уровня, не требующей опирания на щебёночную и песчаную подушку и уплотнённый грунт.

Основные причины снижения расхода материалов на создание uST (снижение ресурсоёмкости системы):

- исключение сплошного материалоемкого и дорогостоящего ездового полотна, опирающегося на щебёночную и песчаную подушку и земляную насыпь;
- использование предварительно напряжённых струн без ухудшения прочности и жёсткости путевой структуры; уменьшение нагрузок на опоры и их фундаменты, только 1–2 % от опор (анкерные опоры) испытывает повышенную нагрузку;
- уменьшение материалоемкости юнимобиля в сравнении с традиционным автомобильным и железнодорожным подвижным составом.

Таким образом, низкая материалоемкость путевой структуры uST (однопутная трасса – до 150 кг/м.п.), малые вертикальные нагрузки на поддерживающие опоры (до 50 тонн при пролёте 100 м), произвольная длина пролётов (от 20 м до 2000 м и более) и высота опор (от 5 м до 100 м и более) создают предпосылки для эффективного внедрения uST в существующую в целом инфраструктуру (экосистему, инфраструктуру), не нарушая при этом действующую архитектуру: здания и коммуникации, ландшафт.

**Транспортная и конструктивная безопасность** обеспечиваются мероприятиями, эффект от комплексного проведения которых может иметь ряд преимуществ по сравнению с аналогичными решениями по иным транспортным системам:

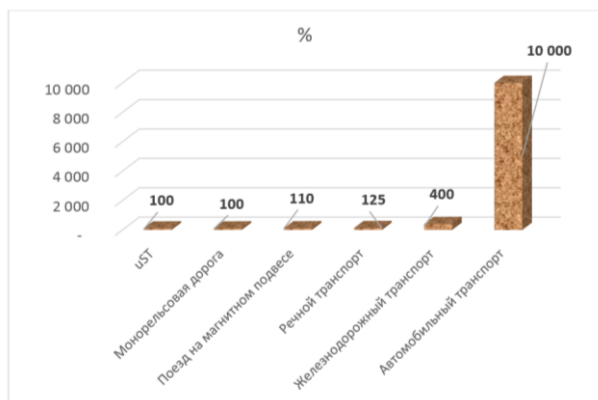
- многократные запасы прочности и многоступенчатая защита всех несущих конструкций и их элементов;
- противосходная система юнимобиля;
- интеллектуальное видеонаблюдение на объектах инфраструктуры и система технического зрения в подвижном составе;
- проектирование в соответствии с международными стандартами (в т. ч. по транспортным эстакадам и объектам инфраструктуры);
- верификация требований, разработанных по ним решений и последующая валидация.

Важным преимуществом uST в обеспечении безопасности является не критичность воздействия любых экстремальных природно-климатических факторов: землетрясения, ветер, обильные снегопады, проливные дожди, гололедица, туман и др.

Вместе с тем, функциональная и информационная безопасность, являющиеся составляющими транспортной безопасности uST, обеспечиваются такими методами, как сквозной контроль качества; архитектура (от компонентов электроснабжения и полевого оборудования до вычислительных логических модулей и сетевого

оборудования); резервирование; диверсность при резервировании; независимость и разделение компонентов; самодиагностика, защита от воздействия окружающей среды и внешних условий и др.

Важнейшим индикатором, характеризующим транспортную безопасность системы, является показатель аварийности, информация о которой представлена в виде рисунка 2.



**Рисунок 2** – Относительный размер показателя транспортной аварийности в различных типах транспортных систем, % (с травмами и гибелью людей, домашних и диких животных) [11]

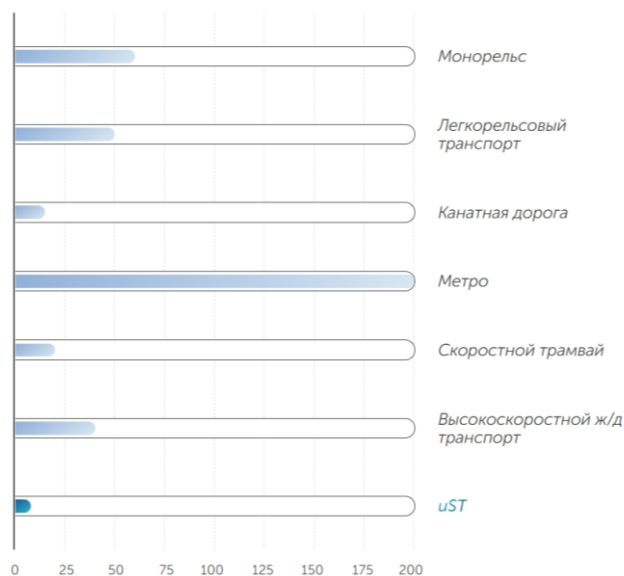
Таким образом, указанные особенности и проводимые мероприятия обеспечивают выполнение норм и требований, предъявляемых в настоящее время к транспортной безопасности, а также дают инновационным транспортным комплексам uST ряд преимуществ перед иными транспортными системами.

#### Экономическая эффективность

В сравнении с существующими транспортными решениями в эстакадном исполнении (автомобильные и железнодорожные эстакады, монорельс, канатная дорога, легкорельсовый транспорт, скоростной трамвай, поезда на магнитной подушке) стоимость строительства, эксплуатации и себестоимости проезда транспортно-инфраструктурных комплексов uST значительно ниже благодаря сочетанию следующих характеристик:

- особенности преднапряжённой рельсо-струнной конструкции, существенно снижающей материалоемкость и стоимость транспортных эстакад;
- устойчивость к внешним воздействиям и долговечность рельсо-струнной эстакады обеспечивают низкие эксплуатационные расходы;
- конструкция рельсо-струнной эстакады позволяет прокладывать маршрут по наиболее короткой траектории с возможностью строительства трасс над водной преградой или иными труднопроходимыми участками местности без использования дополнительных сооружений;
- производство юнимобилей требует низкого расхода конструкционных материалов, что позволяет значительно сократить затраты на производство;
- высокая энергоэффективность позволяет сократить эксплуатационные расходы;
- низкие амортизационные отчисления на ремонт и восстановление рельсо-струнной эстакады и транспортной инфраструктуры за счёт невысокой стоимости строительства и длительного межремонтного срока;
- транспортно-инфраструктурные комплексы uST способны обеспечить перевозку значительного количества пассажиров (до 50 тыс. человек в час) при минимальных эксплуатационных затратах и интервале движения (от 20 сек.), высокой скорости и незначительном штате обслуживающего персонала, что в совокупности может существенно сократить срок окупаемости проекта строительства и эксплуатации uST.

На рисунке 3 приведена информация о стоимости капитальных затрат различных типов транспортных систем в абсолютном исчислении (в зависимости от страны реализации и технико-экономических показателей проекта из открытых источников информации в усреднённых ценах по состоянию на 01.07.2022 г.).



**Рисунок 3** – Капитальные затраты на строительство транспортно-инфраструктурных комплексов, млн долл. США/км (на 01.07.2022 г.) [9]

Как результат, комплекс инженерных решений позволяет значительно сократить стоимость строительства и эксплуатации транспортного комплекса uST по сравнению с традиционными транспортными системами.

#### Роль uST в науке и социально-экономическом развитии

Роль рассмотренных в настоящей статье транспортно-инфраструктурных решений uST в науке главным образом связана с созданием «с нуля», развитием и патентной защитой нового для мирового рынка продукта – комплексной высокотехнологичной транспортной системы – от автоматизированного подвижного состава и уникальных струнных дорог до объектов инфраструктуры и «зелёных» энергетических систем, способных изменить рынок транспортных услуг и мировую транспортную систему в целом.

С учётом внедрения технологии в Беларуси и зарубежных странах [9] областями применения транспортно-инфраструктурных комплексов uST выступают:

- пассажирское сообщение между городами и пригородами, городами и логистическими узлами, расположенными за городской чертой (аэропорты, вокзалы, порты и др.);
- пассажирское сообщение между районами городов, разделёнными водными и иными преградами;
- пассажирское сообщение на территориях с повышенными требованиями к экологичности;
- грузовое транспортное сообщение на территориях со сложными природно-климатическими условиями или рельефом – при отсутствии либо проблематичности прокладки традиционных наземных транспортных коммуникаций между местами добычи полезных ископаемых и транспортными узлами, а также предприятиями по переработке добываемого сырья и т.д.

При этом в качестве перспективных отраслей использования технологии могут выступать ряд иных направлений (морские перевозки и т. д.) в различных регионах мира. Оценка уровня мирового социально-экономического развития и технологических тенденций дают основания считать, что в настоящее время имеются предпосылки для строительства транспортно-инфраструктурных комплексов uST во всём мире в целом.

При этом, рассматривая лишь транспортную сферу, решения uST позволяют решать такие сложные научно-технические проблемы, как:

- перевозка пассажиров и грузов на территориях с повышенными экологическими требованиями, в местностях разделёнными водными и иными препятствиями, со сложными природно-климатическими условиями;

- интеграция транспортных комплексов в крупные инфраструктурные проекты региона;
- повышение скорости движения;
- снижение шума, вибрации;
- повышение безопасности движения;
- увеличение пропускной способности;
- сокращение занятости территорий;
- автоматизация управления;
- уменьшение воздействия транспорта на экологию (загрязнения атмосферы, почвы, воды);
- снижение расхода энергии (топлива);
- уменьшение ресурсоёмкости транспортных средств и конструкций эстакад и т. д.

Последующее создание и реализация указанных инновационных решений в различных странах, регионах позволит развивать мировую науку и социально-экономическую составляющую в целом в логике «Индустрия 4.0», основу которой составляет инновационная экономика.

### Заключение

Существующие в настоящее время классические виды транспорта и осуществляемые ими перевозки грузов и пассажиров практически исчерпали свои возможности развития, наносят всё больший ущерб мировой экосистеме, биосфере и человечеству в целом, и потому нуждаются в инновационных решениях. В этой связи струнный транспорт Юницкого и внедряемые на основе данных технологий решения, как никогда ранее, актуальны, обоснованы и в полной мере готовы к масштабному внедрению.

Несмотря на то, что в мире существует более 100 различных видов транспорта, uST по совокупности конструктивных особенностей, преимуществ и перспектив применения не имеет аналогов в своей области, способен удовлетворять широкий спектр транспортных потребностей и в скором времени может быть внедрён в единую мировую транспортно-инфраструктурную, энергетическую и информационную сеть, которая позволит выйти на качественно новый этап технологического развития человечества. Таким образом, uST способен модернизировать рынок транспортных услуг и мировую транспортную систему в целом. При этом внедрение транспортно-инфраструктурных решений uST как альтернативы традиционным транспортным системам способно послужить драйвером инновационного и социально-экономического развития системы на любом из её уровней (микро-, макро-, мезо-).

### Список цитированных источников

1. Появился рейтинг стран по длине автодорог. Мы в пятерке [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.zr.ru/content/news/916887-rejting-stran-po-dline-avtomob>. – Дата доступа: 14.10.2022.
2. Капский, Д. В. Методология повышения безопасности дорожного движения в городских очагах аварийности : автореферат диссертации ... д-ра техн. наук : 05.22.10 / Д. В. Капский ; Белорусский национальный технический университет. – Минск, 2013. – 50 с.
3. Транспорт в Республике Беларусь: стат. буклет. – Минск, 2022. – 28 с.
4. Транспорт и связь в Республике Беларусь: стат. сборник. – Минск, 2014. – 126 с.
5. Численность населения на 1 января по областям и г. Минску // [Электронный ресурс]: Официальный сайт Национального статистического комитета Республики Беларусь. – Режим доступа: [https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/ssrd-mvf\\_2/natsionalnaya-stranitsa-svodnyh-dannyh/naselenie\\_6/dinamika-chislennosti-naseleniya/](https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/ssrd-mvf_2/natsionalnaya-stranitsa-svodnyh-dannyh/naselenie_6/dinamika-chislennosti-naseleniya/). – Дата доступа: 24.11.2022. Дорожно-транспортные травмы // [Электронный ресурс]: Сайт Всемирной организации здравоохранения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>. – Дата доступа: 14.11.2022.
6. Павлова, Е. И. Экология транспорта / Е. И. Павлова, Ю. В. Буралев. – М. : Транспорт, 1998. – 232 с.

7. Юницкий, А. Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе / А. Э. Юницкий. – Силакросс : «ПНБ принт», 2019. – 576 с.
8. Транспортно-инфраструктурные решения Unitsky String Technologies Inc. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ust.inc>. – Дата доступа: 10.11.2022.
9. Basic data for the energy demand of the different means of traffic used to transport passengers in the corridor Hamburg – Berlin [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vr-transport.de/transrapid-energy/n003.html>. – Дата доступа: 10.11.2022.
10. Юницкий, А. Э. Транспортный комплекс SkyWay в вопросах и ответах. 100 вопросов – 100 ответов [Электронный ресурс]. – Минск: SkyWay Technologies Co., 2016. – 84 с. – Режим доступа: [https://unitsky.engineer/assets/files/shares/2016/2016\\_67.pdf](https://unitsky.engineer/assets/files/shares/2016/2016_67.pdf).

### References

1. Poyavilsya rejting stran po dline avtodorog. My v pyaterke [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.zr.ru/content/news/916887-rejting-stran-po-dline-avtomob>. – Data dostupa: 14.10.2022.
2. Kapskij, D. V. Metodologiya povysheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya v go-rodskih ochagah avarijnosti : avtoreferat dissertacii ... d-ra tekhn. nauk : 05.22.10 / D. V. Kapskij ; Belorusskij nacional'nyj tekhnicheskij universitet. – Minsk, 2013. – 50 s.
3. Transport v Respublike Belarus': stat. buklet. – Minsk, 2022. – 28 s.
4. Transport i svyaz' v Respublike Belarus': stat. sbornik. – Minsk, 2014. – 126 s.
5. Chislennost' naseleniya na 1 yanvarya po oblastyam i g. Minsku // [Elektronnyj re-surs]: Oficial'nyj sajт Nacional'nogo statisticheskogo komiteta Respubliki Belaru-s'. – Rezhim dostupa: [https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/ssrd-mvf\\_2/natsionalnaya-stranitsa-svodnyh-dannyh/naselenie\\_6/dinamika-chislennosti-naseleniya/](https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/ssrd-mvf_2/natsionalnaya-stranitsa-svodnyh-dannyh/naselenie_6/dinamika-chislennosti-naseleniya/). – Data dostupa: 24.11.2022.
6. Dorozhno-transportnye travmy // [Elektronnyj resurs]: Sajт Vsemirnoj organi-zacii zdравоохранeniya [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>. – Data dostupa: 14.11.2022.
7. Pavlova, E. I. Ekologiya transporta / E. I. Pavlova, YU. V. Buralev. – M. : Trans-port, 1998. – 232 s.
8. YUnickij, A. E. Strunnye transportnye sistemy: na Zemle i v Kosmose / A. E. Yunickij. – Silakrogs : «PNB print», 2019. – 576 s.
9. Transportno-infrastrukturnye resheniya Unitsky String Technologies Inc. [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://ust.inc>. – Data dostupa: 10.11.2022.
10. Basic data for the energy demand of the different means of traffic used to transport pas-sengers in the corridor Hamburg – Berlin [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.vr-transport.de/transrapid-energy/n003.html>. – Data dostupa: 10.11.2022.
11. Yunickij, A. E. Transportnyj kompleks SkyWay v voprosah i otvetah. 100 vo-prosov – 100 otvetov [Elektronnyj resurs]. – Minsk: SkyWay Technologies Co., 2016. – 84 s. – Rezhim dostupa: [https://unitsky.engineer/assets/files/shares/2016/2016\\_67.pdf](https://unitsky.engineer/assets/files/shares/2016/2016_67.pdf).

*Материал поступил 04.04.2023, одобрен 19.04.2023, принят к публикации 19.04.2023*