

ИННОВАЦИОННЫЙ ТРАНСПОРТ

№ 3 (57)
сентябрь 2025

I N N O T R A N S



Применение струнного транспорта uST в Арктической зоне России

С. 3

Интегрированный тариф
для городских и пригородных
перевозок в Ташкенте

Проектирование устройств
автоматики ограничения
перегрузки оборудования

Контроль исправности
рельсовой колеи
с помощью устройств ЖАТ



Анатолий Эдуардович Юницкий

Anatoli E. Unitsky



Виктор Александрович Гарах

Victor A. Garakh



Александр Иванович Кривицкий

Aliaksandr I. Kryvitski



Михаил Иосифович Цырлин

Michael I. Tsyrlin

Применение струнного транспорта uST в Арктической зоне России

Use of string transport uST in the Arctic zone of Russia

Аннотация

В работе предложено создание сухопутного дублера Северного морского пути – более быстрого, безопасно-го и доступного маршрута для перевозки пассажиров и грузов. Для реализации данного проекта предлагается использование струнного транспорта uST, позволяющего осуществлять большой объем грузовых и грузопассажирских перевозок высокоскоростными юнимобилями – беспилотными рельсовыми электромобилями на стальных колесах. Осуществление таких перевозок в сложных погодно-климатических условиях Арктики возможно в представленных двухпутных воздушных тоннелях мембранного типа. Указанная технология обладает конкурентными преимуществами по сравнению с традиционными транспортными решениями по безопасности, экономичности, энергоэффективности и экологичности.

Ключевые слова: Арктика, струнный транспорт uST, грузопассажирские перевозки, воздушный тоннель мембранного типа, юнимобиль, поездка uST.

Abstract

The paper introduces the creation of a land alternate of the Northern Sea Route – a faster, safer and more accessible route for the transportation of passengers and cargo. For realization of this project, it is proposed to use uST string transport, which allows to carry out large volume of cargo and cargo-passenger transportation by high-speed uPods – unmanned rail electric vehicles on steel wheels. Such transportation in the difficult weather and climatic conditions of the Arctic is possible in the presented double-track membrane-type air tunnels. This technology has competitive advantages over traditional transport solutions in terms of safety, economical operation, energy efficiency and environmental friendliness.

Key words: the Arctic, string transport uST, cargo and passenger transportation, membrane-type air tunnel, unimobile, uST trains.

Авторы Authors

Анатолий Эдуардович Юницкий, председатель совета директоров, генеральный конструктор, ЗАО «Струнные технологии», Минск; e-mail: a@unitsky.com | **Гарах Виктор Александрович**, заместитель генерального конструктора по комплексным разработкам и внедрению, ЗАО «Струнные технологии», Минск; e-mail: v.garakh@unitsky.com | **Александр Иванович Кривицкий**, начальник управления системного анализа и инженерных расчетов, ЗАО «Струнные технологии», Минск; e-mail: a.krivitskiy@unitsky.com | **Михаил Иосифович Цырлин**, канд. техн. наук, ведущий специалист научно-исследовательского отдела, ЗАО «Струнные технологии», Минск, e-mail: m.tsirlin@unitsky.com

Anatoli E. Unitsky, Chairman of the Board of Directors, General Designer, Unitsky String Technologies, Inc., Minsk; e-mail: a@unitsky.com | **Victor A. Garakh**, Deputy General Designer for Integrated Development and Implementation, Unitsky String Technologies, Inc., Minsk; e-mail: v.garakh@unitsky.com | **Aliaksandr I. Kryvitski**, Head of the Department of Systems Analysis and Engineering Calculations, Unitsky String Technologies, Inc., Minsk; e-mail: a.krivitskiy@unitsky.com | **Michael I. Tsyrlin**, Candidate of Technical Sciences, Leading Specialist of Scientific Research Department, Unitsky String Technologies, Inc., Minsk; e-mail: m.tsirlin@unitsky.com

Арктическая зона Российской Федерации (АЗРФ) является одной из наиболее значимых геополитических областей в мире. В последние годы интерес к перспективности этой территории значительно возрос, особенно в контексте глобального изменения климата, экономического развития, экологической и геополитической устойчивости.

Одним из основных факторов экономического роста АЗРФ является решение задач пространственного развития, где эффективное функционирование различных сфер жизнедеятельности общества невозможно без развития инфраструктуры, в том числе транспортной.

Арктическая транспортная система представляет собой уникальное сочетание различных видов транспорта: морского, речного, воздушного, железнодорожного, автомобильного, каждый из которых играет важную роль в обеспечении логистики в этом сложном природно-климатическом регионе России. Кроме того, неотъемлемой частью транспортной системы Арктики является береговая инфраструктура, включающая порты, навигационное оборудование, метеорологические станции и системы связи.

Сегодня состояние транспортной инфраструктуры Арктики не соответствует уровню, необходимому для устойчивого развития экономики страны, в том числе ее отдельных регионов, и характеризуется крайне неравномерным развитием и слабым уровнем транспортной освоенности [1, 2]. Обширные районы АЗРФ практически не обустроены в транспортном отношении и не имеют полноценных связей с главными магистралями, а также налаженных внутрирегиональных коммуникаций. Основная нагрузка в этих регионах – сезонная и приходится на морской и речной транспорт.

Функционирование транспорта в Арктике происходит под влиянием совокупности взаимосвязанных труднорегулируемых факторов, создающих существенные риски для его развития и ограничивающих расширение дорожной сети. К ним прежде всего относятся экстремальность климата, уязвимость природной среды, масштабы и удаленность арктических территорий [3, 4]. Это серьезно затрудняет и удорожает формирование арктической транспортной системы, накладывает целый ряд ограничений на применение отдельных видов транспорта:

- в условиях вечной мерзлоты крайне затруднено строительство автомобильных и железных дорог;
- перевозки авиационным транспортом характеризуются высокой стоимостью, а при низких температурах (ниже $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$) ограничиваются использованием крупнофюзеляжных (тяжелых) самолетов;
- работа наземного транспорта затруднена из-за частой смены погодных условий (сильные ветры, штормы, снежные заносы, мгновенное обледенение). Это делает планирование логистики крайне непредсказуемым;

- дополнительные сложности связаны с необходимостью работы транспорта в условиях полярной ночи;
- в Арктической зоне в ряде субъектов Российской Федерации железнодорожный транспорт отсутствует, а автомобильный функционирует только в пределах населенных пунктов;
- работа речного (внутреннего водного) транспорта ограничена коротким сроком навигации (2–4 месяца) и преобладанием рек с малыми глубинами в фарватерах;
- отсутствие мобильной и цифровой инфраструктуры, слаборазвитые системы связи и навигации в удаленных районах ограничивают использование ИТ-решений и беспилотных транспортных средств.

Современное состояние и динамика развития сухопутного транспорта арктических территорий характеризуются крайне слабым уровнем обеспеченности наземными путями сообщения.

Несмотря на то, что использование морского транспорта также связано с рядом проблем (сложные погодные условия, необходимость в развитии инфраструктуры и обеспечении безопасности судоходства), он по-прежнему является ключевым звеном транспортной системы АЗРФ, обеспечивая связь между различными регионами, а также между Россией и другими странами мира.

Проблемные вопросы экономического, социального и экологического характера, сформированные на территории Арктической зоны, обуславливают следующие направления возможного развития российской Арктики:

- широкое освоение минерально-сырьевого потенциала;
- развитие транспортно-инфраструктурной системы.

Комплексное освоение минерально-сырьевого потенциала арктических регионов России – сложная стратегическая задача, требующая применения современных методов планирования пространственного развития территорий. Арктическая зона занимает первое место по добыче разнообразных полезных ископаемых и является регионом исключительного значения для экономики, национальной безопасности и внешнеэкономических связей Российской Федерации.

Кроме громадных запасов нефтегазового сырья, в арктических регионах России находится около 10 % активных мировых запасов никеля, 19 % платиноидов, 10 % титана, более 3 % цинка, золота и серебра.

Арктическая зона России обладает глобально значимыми запасами стратегически важных ресурсов, включая до 100 % отечественных запасов коренных алмазов, около 90 % хрома и марганца, 50 % апатита, 47 % платиновых металлов, а также редкоземельные элементы, литий, кобальт, графит, уран, титан и вольфрам – критически важные для зеленой энергетики, высоких технологий и оборонно-космической отрасли.

Проект сухопутного арктического транспортного пути uST

Основная цель данной работы (проекта) – создание альтернативного, более быстрого, безопасного и доступного маршрута для перевозки грузов по сравнению с Северным морским путем, а также организация высокоскоростных грузопассажирских перевозок для обеспечения транспортной доступности обширных арктических регионов, простирающихся на тысячи километров, которые необходимо преодолевать в течение часов, а не суток. Это поможет снизить зависимость России от морских путей, проходящих через сложные и опасные районы Арктики, а также привлечь инвестиции в развитие инфраструктуры и экономики арктических регионов.

Реализация арктического транспортного пути как сухопутного дублера Северного морского пути позволит обеспечить надежную и безопасную перевозку пассажиров и грузов, предоставив доступ к ресурсам. Это снимет ограничения с арктической логистической инфраструктуры, раскроет потенциал удаленных и незаселенных территорий, улучшит

качество жизни местного населения, создаст сотни тысяч новых рабочих мест, увеличит доходы людей и налоговые поступления, позволит привлечь инвестиционный капитал и квалифицированных специалистов, тем самым способствуя экономическому росту России в целом и Арктической зоны в частности.

Проект сухопутного арктического транспортного пути uST предусматривает создание крупномасштабной транспортно-инфраструктурной магистрали протяженностью более 10500 км, проходящей вдоль северных границ России через Мурманск, Республику Карелия, Архангельск, Ненецкий автономный округ, Республику Коми, Ямало-Ненецкий автономный округ, Красноярский край, Республику Саха (Якутия), Чукотский автономный округ до Петропавловска-Камчатского. Цель проекта – оптимизация транспортировки транзитных грузов и арктических сырьевых ресурсов, а также организация высокоскоростного грузопассажирского транспортного сообщения со скоростью движения до 400 км/ч (в перспективе – до 500 км/ч).

Сухопутный арктический транспортный путь на базе технологий uST – это двухпутный воздушный тоннель мембранного типа, установ-

ленный на опорах, для осуществления большого объема грузовых и грузопассажирских перевозок высокоскоростными юнимобилями (поездами) большой вместимости и грузоподъемности (рис. 1).

Воздушный тоннель uST мембранного типа – это разновидность предварительно напряженной рельсо-струнной эстакады, являющейся самым перспективным направлением в АЗРФ для высокоскоростных и грузовых трасс (с тяжелым подвижным составом массой 50 т и более).

Основное преимущество воздушного тоннеля – обеспечение защиты высокоскоростного подвижного состава и путевой структуры от негативного воздействия погодноклиматических факторов Арктики: снега и снежных заносов зимой, обледенения и таяния вечной мерзлоты, проливных дождей и разливов рек летом, а также сильных ветров, дующих и зимой, и летом. Это обеспечит круглогодичную безопасность и комфорт высокоскоростных перевозок в Арктике в режиме 24/7.

Движение грузовых и пассажирских поездов в тоннеле организовано в двух направлениях. Возможно движение вне расписания, а также перевозки небольшими одиночными юнимобилями (в том числе частными) между идущими строго по расписанию поездами.

Транспортировка стандартизированных контейнерных грузов (ISO-контейнеры) осуществляется посредством грузовых навесных рельсовых электромобилей на стальных колесах (юниконов). Высокая скорость движения, обеспечивающая высокую производительность, позволит в полной мере реализовать транзитный потенциал сухопутной магистрали и закрыть потребности тихоокеанского и европейского рынков.

Кроме организации транзитных грузовых потоков, сухопутный арктический транспортный путь может использоваться для перемещения грузов между транспортно-логистическими центрами, морскими и сухими портами, транспортными



Рис. 1. Воздушный тоннель uST мембранного типа с пассажирскими и грузовыми юнимобилями (вариант)

хабами, как уже существующими, так и вновь создаваемыми на территории АЗРФ.

С целью транспортировки ресурсного запаса арктического шельфа и северных территорий, развития минерально-сырьевых комплексов на Дальнем Востоке и в Арктике будет организован магистральный способ доставки навалочных (сыпучих) грузов (уголь, руда, строительные материалы и др.) без промежуточных перевалок посредством автоматизированного комплекса «Юнитранс» с непрерывным кольцевым движением, обеспечивающим транспортировку до 100 млн т грузов в год.

На базе двухпутного воздушного тоннеля возможна организация системы транспорта углеводородов – магистральных газо- и нефтепроводов, установленных сбоку тоннеля на его опорах, что позволит упростить и удешевить дополнительную транспортировку больших объемов нефти и природного газа, а также продуктов их переработки. Кроме того, на опорах тоннеля uST могут быть размещены магистральные линии электропередачи для обеспечения промышленных регионов и новых населенных пунктов России электрической энергией, выработанной в Арктике на местном дешевом топливе.

Тоннельный комплекс uST также предусматривает движение высокоскоростных грузопассажирских транспортных средств – многосоставных беспилотных поездов на стальных колесах (юнимобилей) разной вместимости для транзитного перемещения пассажиров и грузов на дальние расстояния. Такой поезд станет альтернативой другим видам транспорта, в первую очередь магистральной авиации, за счет высокой скорости передвижения в защищенной среде в сочетании с надлежащим уровнем комфорта и безопасности. Реализация магистрали, обеспечивающей высокоскоростные грузопассажирские перевозки, создаст условия для экономического оживления и роста существующих населенных пунктов, расположенных вдоль

нее, а также для строительства новых поселений, в том числе военного назначения – для охраны и защиты северных границ со стороны Северного Ледовитого океана. Повысится уровень транспортной доступности, и, как следствие, вырастет качество жизни, медицины и образования на обширных арктических территориях, что полностью исключит зависимость логистики от природно-климатических условий, повысит энергоэффективность и экологичность перевозок, обеспечит развитие туризма и международного транзита.

Проходя по материковой части территории Арктики от Мурманска до Петропавловска-Камчатского, маршрут обеспечит доставку грузов на суда ледового класса, позволит наладить магистральный транзит и будет содействовать всепогодному обслуживанию ледокольного флота. Для обеспечения максимальной интенсивности грузо- и пассажироперевозок маршрут построен с учетом размещения грузовых терминалов и пассажирских станций в крупных населенных пунктах материковой части арктической территории.

Конструктивно магистраль представляет собой установленный на опоры воздушный тоннель мембранного типа (с предварительно натянутыми стальными мембранами) для

осуществления движения грузового, пассажирского и грузопассажирского подвижного состава (юнимобилей) – беспилотных рельсовых электромобилей на стальных колесах. По своей инженерной сути комплекс сочетает в себе преимущества железной дороги и автомобильного транспорта: он имеет специальные стальные рельсы, по которым движется беспилотный электромобиль на стальных колесах, но по своему конструктиву и компоновке юнимобиль ближе к автомобилю, чем к железнодорожному поезду. Состав комплекса uST:

- воздушный тоннель мембранного типа;
- подвижной состав – грузовые, пассажирские и грузопассажирские юнимобили (поезда);
- объекты инфраструктуры – пассажирские и сервисные станции, погрузочно-разгрузочные терминалы и др.;
- автоматизированная система управления, системы энергообеспечения и связи.

Воздушный тоннель мембранного типа

Воздушный тоннель мембранного типа (рис. 2) – разновидность предварительно напряженной рельсо-

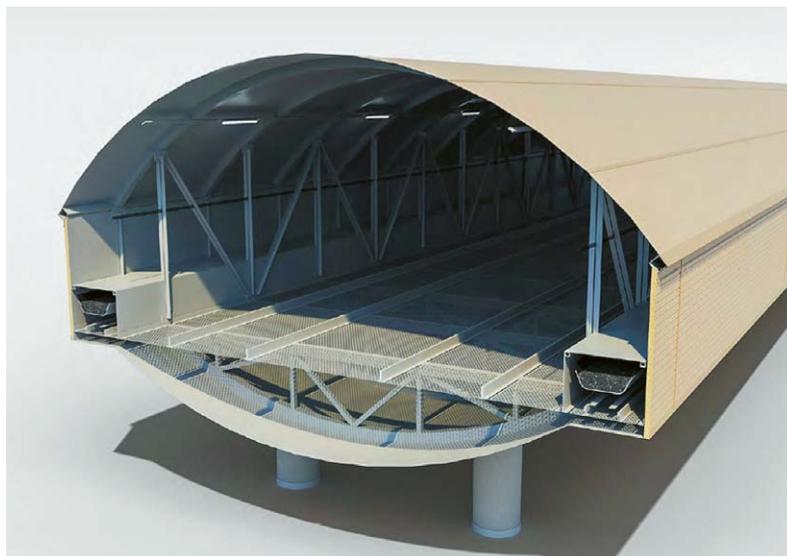


Рис. 2. Воздушный тоннель мембранного типа (вариант)

струнной эстакады uST, которая по своим техническим характеристикам является более жесткой и более прочной конструкцией, чем классические балочные эстакады, в том числе ферменного типа. При меньшей на порядок материалоемкости (и стоимости) в сравнении с традиционными транспортными эстакадами мембранный тоннель обеспечит необходимую жесткость и ровность пути для движения со скоростью до 400 км/ч (в перспективе – до 500 км/ч).

Основным материалом мембранного несущего каркаса тоннеля является коррозионно-стойкая рулонная сталь толщиной порядка 1 мм, которая имеет невысокую стоимость и выпускается промышленностью РФ в больших объемах. Мембрана тоннеля обеспечит защиту путей и транспорта от осадков, ветровой нагрузки и иных негативных внешних воздействий (появление на пути упавших деревьев, животных и крупных птиц, людей, иных транспортных средств и др.), в том числе вандального и террористического характера, что повысит безопасность и комфорт движения. За счет предварительного натяжения мембраны несущий каркас тоннеля получает высокую несущую способность пролетного строения.

Центральным элементом воздушного мембранного тоннеля является предварительно напряженный (растянутый) рельс, не имеющий температурных стыков по всей своей длине (рис. 3).

Опорная конструкция тоннеля представлена двумя характерными элементами:

- анкерными опорами;
- промежуточными опорами.

Основная горизонтальная (продольная) нагрузка от предварительно напряженного тоннеля приходится на анкерные опоры, установка которых возможна на расстоянии до 3 км, а при использовании высокопрочных стальных проволок (вместо арматурных канатов) – до 10 км. На анкерных опорах находятся узлы анкерения – конструктивные элементы путевой структуры, воспринимающие как предварительное натяжение струн (канатов) и мембраны, так и сезонные температурные усилия (для условий Арктики в диапазоне температур от -60 до $+30$ °C).

Для поддержки тоннеля также будут установлены легкие и недорогие промежуточные опоры, воспринимающие только вертикальную нагрузку, с шагом от 60 м. При пересечении широких и глубоких рек, озер и иных обширных препятствий конструктив тоннельной эстакады позволяет увеличить шаг опор до 1000 м и более. Для поддержки устойчивости тоннеля на таком большом пролете будут использоваться дополнительные силовые канаты (по типу висячего моста).

Высота промежуточных и анкерных опор в оптимальной конфигурации не будет превышать 3 м – этого достаточно, чтобы обеспечить безопасное переме-

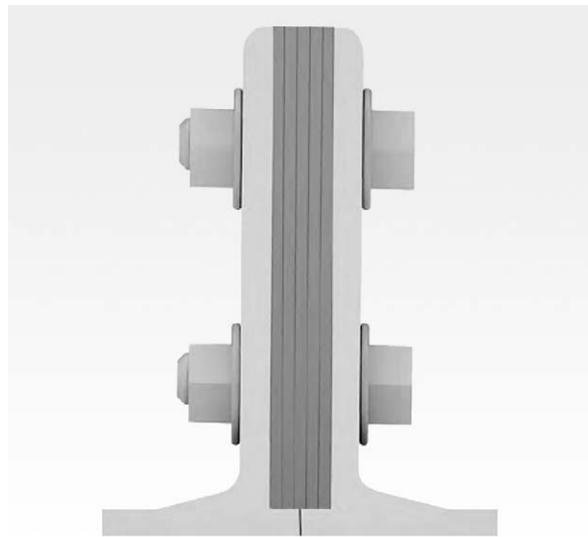


Рис. 3. Пластинчатый струнный рельс (вариант)

ние под тоннелем диких животных, людей, обслуживающего персонала и техники.

Большая часть сухопутного арктического транспортного пути пролегает по заснеженным территориям, но даже это не определяет необходимость установки высоких и материалоемких опор. Снежный покров даже большой толщины не будет препятствовать движению подвижного состава uST в тоннеле и его функционированию в штатном режиме.

Высота опор является адаптивным параметром. В случае пересечения автомобильных и железных дорог, судоходных рек, высоковольтных линий электропередачи, заселенных местностей анкерные и промежуточные опоры будут спроектированы с учетом действующих требований и норм, регулирующих высоту прохождения тоннеля и габариты приближения к соответствующим объектам. Все опоры выполняются из традиционных строительных материалов: стали и железобетона (преимущественно заводского изготовления; в отдельных случаях, например при переходе через реки, – из монолитного железобетона).

Благодаря малым поперечным размерам опор и низким нагрузкам на них, облегчается устройство их свайных фундаментов, что особенно важно в условиях вечной мерзлоты.

При безземельном строительстве (без опирания на землю и без использования строительных лесов, подъемных кранов и другой строительной техники), для того чтобы выровнять тоннель и размещенные внутри него путевые структуры от провисания, используются дополнительные силовые предварительно напряженные канаты. Силовые канаты могут быть размещены на боковой части конструкции тоннеля. После завершения строительства жесткость и ровность пути будут обеспечивать мембранный тоннель и путевые структуры, обладающие исключительно высокой изгибной жесткостью.

Подвижной состав

С целью обеспечения высокой производительности тоннельного uST – порядка 100 млн т грузов и 100 млн пассажиров в год (при интенсивном развитии АЗРФ в будущем) – подвижной состав представлен пассажирскими, грузопассажирскими и грузовыми поездами uST, состоящими из модулей на базе юнимобилей – беспилотных рельсовых электромобилей на стальных колесах [5, 6].

Высокоскоростные грузопассажирские поезда uST

Высокоскоростной грузопассажирский поезд uST – это протяженный высокоаэродинамичный модуль, состоящий из отдельных салонов (отсеков) длиной порядка 6 м, разделенных (либо не разделенных) перегородками. Каждый салон (отсек) имеет сидячие и спальные места, туалет и багажный отсек (рис. 4). В состав поезда при необходимости могут быть интегрированы грузовые отсеки (вагоны), не нарушающие его аэродинамические обводы.

Оптимальная вместимость юнимобилей (поездов) определяется уровнем пассажиропотока, необходимо-го к обеспечению, и может составлять от 20 до 200 пассажиров. Грузоподъемность поезда – от 5 до 50 т; она обеспечивает перевозку грузов, нуждающихся в быстрой доставке потребителю (почта, лекарства, предметы первой необходимости, скоропортящиеся продукты питания и др.).

Необходимо отметить, что около 90 % всей энергии, расходуемой на высокоскоростное движение, уходит на аэродинамическое сопротивление воздуха в тоннеле, поэтому именно аэродинамические качества юнимобилей определяют всю энергоэффективность высокоскоростного uST. Описанный подвижной состав – высокоскоростной электромобиль, выполненный в виде поезда, – будет самым энергоэффективным из всех альтернатив [7, 8]. Например, при пересчете электрической энергии



Рис. 4. Высокоскоростной трехвагонный грузопассажирский поезд uST

в топливо 192-местный юнимобиль на скорости 360 км/ч будет расходовать всего 0,4 л горючего на 100 пасс.-км.

Высокоскоростные грузовые поезда uST

Грузовые контейнерные перевозки между портами и логистическими центрами осуществляются грузовыми юнимобилями uST (юниконтами) (рис. 5) – навесными автоматическими рельсовыми транспортными средствами [9, 10].

Данный рельсовый электромобиль на стальных колесах позволяет оптимизировать логистику и перевозить грузовые контейнеры со скоростями до 120 км/ч. Для перевозки грузов с большей скоростью (300 км/ч и более) традиционные контейнеры не подходят – они должны быть выполнены высокоаэродинамичными и с меньшим миделем (площадью поперечного сечения). Например, для перевозки стандартного морского 40-футового контейнера со скоростью 360 км/ч юниконт должен иметь привод мощностью около 5000 кВт, в то время как для перевозки такого же количества груза (30 т) с этой же скоростью, но в специальном контейнере uST потребуются привод мощностью всего 160 кВт. Это позволит сэкономить на высокоскоростной транспортировке одного контейнера на расстояние 10 тыс. км более 120 тыс. кВт·ч электрической энергии (в топливном эквиваленте – более 30 тыс. л топлива). Тогда на каждый миллион контейнеров экономия топлива составит 30 млн т, а при увеличении скорости движения экономия будет еще более значимой. При этом очевидно, что нельзя по одной и той же рельсовой дороге перевозить грузы и пассажиров с разными скоростями, например со скоростью 120 км/ч и 400 км/ч, – это приведет к высокой аварийности и ухудшит логистику, в том числе на порядок снизит объем перевозок.

Погрузка контейнеров на юниконт и их разгрузка осуществляются в автоматизированных грузовых терминалах.



Рис. 5. Юниконт для перевозки морских и железнодорожных контейнеров (скорость до 120 км/ч)

Юниконт является беспилотным колесным транспортным средством, управление которым осуществляется в автоматическом режиме без присутствия водителя (оператора).

Технология uST позволяет организовать магистральную непрерывную доставку насыпных, сыпучих, штучных, штучных фасованных, наливных и наливных фасованных грузов с помощью транспортно-инфраструктурного комплекса «Юнитранс» – автоматизированного транспортно-инфраструктурного комплекса с непрерывным кольцевым движением в составе воздушного тоннеля uST (рис. 6).



Рис. 6. Навесной юнитранс (вариант)

Преимущества uST

Транспортно-инфраструктурные системы uST обладают следующими конкурентными преимуществами по сравнению с традиционными транспортными решениями:

1. Экономичность:

- низкие капитальные затраты при строительстве (отсутствуют мосты, путепроводы, многоуровневые развязки, водопропускные сооружения, земляные насыпи и выемки, многослойная дорожная одежда, рельсошпальная решетка и другие ресурсоемкие и дорогостоящие логистические структурные элементы);
- низкие эксплуатационные затраты (высокая энергоэффективность, длительный срок службы комплекса и его элементов, автоматизация управления, минимизация численности персонала и др.).

2. Безопасность:

- исключение ДТП за счет поднятия путевой структуры над землей, а также размещения комплекса в тоннеле, защищающем подвижной состав от внешних воздействий природного и техногенного характера;
- отсутствие человеческого фактора за счет автоматизированной системы управления;

- наличие у подвижного состава продублированной противосходной системы;
- устойчивость к природным катаклизмам (многометровые снежные заносы, проливные дожди, разливы рек, ураганный ветер до 250 км/ч, землетрясения до 9 баллов по шкале Рихтера и др.), террористическим актам и вандализму.

3. Универсальность:

- проходимость по любому сложному рельефу местности в экстремальных природно-климатических условиях (мороз до -60°C и ниже, вечная мерзлота, горы, болота, озера, реки, ущелья и др.);
- неограниченная длина трассы (от километра до 10 000 км и более);
- широкий диапазон грузоподъемности рельсовых электромобилей (от 1 до 50 т и более) и их пассажироемкости (от 2 до 200 пассажиров и более);
- широкий диапазон штатных скоростей движения грузового, пассажирского и грузопассажирского подвижного состава (от 40 до 400 км/ч и более);
- возможность прохождения над существующими дорогами и инженерными коммуникациями и иными техногенными и природными препятствиями;
- комплексное сочетание возможностей и преимуществ традиционных видов транспорта: автомобильного, железнодорожного, авиационного, монорельсового, канатного, с магнитной левитацией.

4. Экологичность:

- отсутствие вредных выбросов и воздействий – выхлопных газов, продуктов износа пневматических шин и асфальта, электромагнитных излучений и др.;
- низкий уровень шума и вибраций (внутри салона и вовне);
- низкое удельное потребление энергии (в пересчете на 1 пассажира и 1 т груза);
- минимальное использование земли (точечно под опоры; например, в сравнении с автомобильной магистралью, примерно в 100 раз меньше).

Выводы

Реализация сухопутного арктического транспортного пути с использованием транспортно-инфраструктурного комплекса uST позволит обеспечить надежную и безопасную всепогодную перевозку пассажиров и грузов вдоль побережья Северного Ледовитого океана. Технология uST обладает существенными конкурентными преимуществами по сравнению с традиционными транспортными решениями по ресурсоемкости, экономичности, универсальности, энергоэффективности, безопасности, экологичности. **ИТ**

Список литературы

1. Вечная мерзлота и освоение нефтегазоносных районов / под ред. Е.С. Мельникова и С.Е. Гречищева. М. : ГЕОС, 2002. 402 с.
2. Егорова Т.П., Алексеев К.И., Константинов Н.Н. Проблемы транспортного обеспечения арктической зоны Якутии // Региональная экономика: теория и практика. 2011. № 23. С. 301–304. ISSN 1818–3395.
3. Солуянова Т.В., Молоков В.С., Волкова Е.В. Особенности строительства и эксплуатации автомобильных дорог в условиях Крайнего Севера // Вестник науки. 2023. № 3. С. 276–283. ISSN 2712–8849.
4. Юницкий А.Э., Цырлин М.И., Малахов Р.А., Петровец А.Н. Применение транспортных комплексов uST в условиях вечной мерзлоты // Инновационные транспортные системы и технологии. 2025. Т. 11, № 2. С. 202–218. DOI: 10.17816/transsyst683381.
5. Юницкий А.Э. Инновационные транспортно-инфраструктурные технологии uST: альбом. Минск : ЗАО «Струнные технологии», 2021. 94 с.
6. Юницкий А.Э., Артюшевский С.В. Инновационный вектор развития транспортной инфраструктуры Арктического региона России с использованием струнных технологий Юницкого // Молодежная наука в XXI веке: традиции, инновации, векторы развития : материалы VII Международной научно-исследовательской конференции. 25–26 апреля 2024 г. Самара; Оренбург, 2024. С. 361–366.
7. 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.
8. СТБ 2681–2025. Струнные транспортные системы. Подвижной состав. Средства рельсовые транспортные пассажирские. Общие технические условия.
9. Юницкий А.Э., Тихонов Д.Н., Цырлин М.И. О перспективах развития струнного транспорта для грузовых перевозок // Инновационный транспорт. 2021. № 3. С. 7–10. DOI:10.20291/2311–164X-2021–3–7–10.
10. СТБ 2679–2025. Струнные транспортные системы. Подвижной состав. Средства рельсовые транспортные грузовые. Общие технические условия.

References

1. Permafrost and the development of oil and gas bearing areas / ed. by E.S. Melnikov and S.E. Grechishchev. Moscow : GEOS, 2002. 402 p.
2. Egorova T. P., Alekseev K. I., Konstantinov N. N. Problems of transportation support in the Arctic zone of Yakutia // Regional economics: theory and practice. 2011. No. 23. Pp. 301–304. ISSN 1818–3395.
3. Soluyanova T.V., Molokov V.S., Volkova E.V. Features of construction and operation of highways in the conditions of the Far North // Bulletin of Science. 2023. No. 3. Pp. 276–283. ISSN 2712–8849.
4. Yunitskii A. E., Tsyrlin M. I., Malakhov R. A., Petrovets A. N. Application of uST transport complexes in permafrost conditions // Innovative transport systems and technologies. 2025. Vol. 11, No. 2. Pp. 202–218. DOI: 10.17816/transsyst683381.
5. Yunitskii A. E. Innovative transport and infrastructure technologies. Album. Minsk : Strunnye tekhnologii, 2021. 94 p.
6. Yunitskii A. E., Artyushevskij S. V. Innovative vector of development of transport infrastructure of the Russian Arctic region using Yunicky's structural technologies // Youth science in the 21st century: traditions, innovations, development vectors: materials of the VII International scientific research conference. April 25–26, 2024. Samara-Orenburg, 2024. Pp. 361–366.
7. 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
8. STB 2681–2025. String transport systems. Rolling stock. Passenger rail transport vehicles. General specifications.
9. Yunitskii A. E., Tikhonov D. N., Tsyrlin M. I. On the Prospects for the Development of String Transport for Cargo Transportation // Innotrans. 2021. No. 3. Pp. 7–10. DOI:10.20291/2311–164X-2021–3–7–10.
10. STB 2679–2025. String transport systems. Rolling stock. Rail cargo transport vehicles. General specifications.