



Российская Академия Наук
Учреждение Российской академии наук
Институт проблем транспорта имени Н.С. Соломенко РАН
199178, С.-Петербург, В.О. 12 линия, 13
тел. (812) 321-97-42, факс (812) 323-29-54, E-mail: belyi@ipttran.ru

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Института проблем транспорта
имени Н.С. Соломенко РАН
Заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор

 Белый О.В.

«05» октября 2009 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

на инновационную транспортную технологию
«Струнный транспорт Юницкого»

1. Введение

Анализ современного состояния и перспектив развития транспорта, выполненный в ходе разработки Транспортной стратегия РФ до 2030 г., показывает наличие ряда ограничений развития транспорта в России, таких как высокая капиталоемкость и энергоёмкость проектов, тяжелые климатические условия, длительные сроки реализации проектов, низкая окупаемость инвестиций в транспортную инфраструктуру.

В подобных условиях формирование рынка конкурентоспособных транспортных услуг невозможно без достижения передового уровня техники и технологий, обеспечивающих стандарты безопасности, экологичности, экономичности и качества. Важнейшим направлением пространственного развития становится использование принципиально новых инновационных технологий в области транспорта. В связи с этим внедрение струнного транспорта Юницкого (СТЮ) может стать одним из

перспективных направлений развития инновационных транспортных технологий. В ноябре 2008 года, по решению Комитета транспорта Государственной Думы Федерального Собрания Российской Федерации, в рамках Консультативного совета «Транспорт объединяет Россию» по теме «Инновационные виды транспортного сообщения в России XXI века», СТЮ был признан победителем среди инновационных проектов и рекомендован к скорейшему внедрению в экономику страны.

Струнный транспорт является транспортом «второго уровня», поэтому для его инфраструктуры и обеспечения функционирования не требуется изъятия значительного количества земельных ресурсов. СТЮ, имея пролёты между опорами от 30—50 метров до 1—2 километров, может пройти по болотистой, песчаной, горной местности, водным преградам, тайге, тундре и вечной мерзлоте. СТЮ обладает высокой энергетической эффективностью и имеет значительно меньшую капиталоемкость в сравнении с монорельсовой дорогой, эстакадами для поездов на магнитном подвесе или высокоскоростных железных дорог. СТЮ достаточно устойчив к атмосферным явлениям, землетрясениям, наводнениям и другим стихийным бедствиям. Система СТЮ соответствует российским СНИПам и ГОСТам, защищена российскими и международными патентами. Основные узлы и агрегаты системы испытаны и сертифицированы в соответствии с российским законодательством. Указанные преимущества позволяют в достаточно сжатые сроки создавать принципиально новый вид транспорта, решая проблемы внутригородских, пригородных и междугородних перевозок как в качестве основной, так и параллельной инфраструктуры, разгружающей пассажиро- и грузопотоки.

2. Концептуальная характеристика струнного транспорта

Струнный транспорт Юницкого образуют пространственно распределённая совокупность опор, расположенные на них рельсы-струны и движущиеся по рельсам самоходные колёсные транспортные средства — юнибусы. Принципиальное отличие СТЮ от традиционной рельсовой структуры заключается в том, что рельсы-струны подняты над землёй на высоту от 3-х метров и выше, натянуты между анкерными опорами, поддержаны промежуточными опорами и предварительно напряжены до усилий 100—500 тонн и более. Это обеспечивает высокую жёсткость рельсо-струнной путевой структуры, определяемой отношением величины прогиба пролётного строения к длине пролёта (порядка 1/1000) при существенно меньшей материалоемкости, поскольку отпадает необходимость в сооружении насыпей, путепроводов, виадуков, мостов, водопропускных труб и прочих сопутствующих сооружений. Этим объясняются высокая экономическая эффективность СТЮ и высокая поточная скорость её прокладки.

Сама «струна» представляет собой металлический короб, в котором располагаются предварительно напряжённые канаты, набранные из арматурных

проволок диаметром 3—5 мм (возможны и другие диаметры проволок), заливаемые модифицированным бетоном или наполнителем на основе эпоксидной смолы, и закрываемый головкой рельса, по которой и происходит качение колеса юнибуса. Такая конструкция рельса-струны обеспечивает не только требуемую защиту от коррозии несущих стальных нитей, но и ожидаемую высокую надёжность работы системы — размах вертикальных динамических колебаний рельса на пролёте не превышает ± 15 мм (относительно средней линии) для низких скоростей и ± 5 мм — для высоких скоростей движения юнибусов. Время затухания этих колебаний — порядка 0,1 сек. Возможное возникновение резонансных явлений в струнном рельсе компенсируется как выбором рациональной расчётной величины скорости движения транспортных средств по нему (разработаны низко-, средне-, высоко- и сверхвысокоскоростные разновидности «струны»), так и изгибной жёсткостью рельса-струны, усилием натяжения струны и физико-механическими характеристиками наполнителя.

По сравнению с традиционными транспортными средствами юнибус обладает большей экономичностью благодаря его отличительным аэродинамическим свойствам. При скоростях движения свыше 200 км/час по рельсо-струнной дороге коэффициент лобового аэродинамического сопротивления юнибуса может быть доведён до 0,1 и ниже посредством исключения эффекта «экрана» и благодаря запатентованным высокоаэродинамичным обводам корпуса.

Рассматриваемая транспортная система предполагается к реализации в следующих скоростных режимах: до 50 км/час, до 100 км/час, до 150 км/час, до 200 км/час, до 300 км/час, до 400 км/час, до 500 км/час.

3. Краткий перечень результатов выполненных работ

За период существования ООО «Струнный транспорт Юницкого» (с 1988 г.) выполнен широкий диапазон научных, экспериментальных и опытно-конструкторских работ, включающий следующие основные результаты, классифицированные в соответствии с упомянутой выше концептуальной схемой СТЮ.

3.1. Опоры

- сконструированы основные виды опор (анкерные и промежуточные) и определены их конфигурации (преимущественно Т- и П-образные), как для навесного, так и подвесного СТЮ,

- определены оптимальные значения расстояний между анкерными (до 10 км) и промежуточными (30—50 м для навесного и 100—300 м для подвесного СТЮ) опорами, их высоты (от 3-х метров), глубины заделки опор в грунт (на 1,5—2,5 м и более для плитных и 6—8 м и более для свайных фундаментов, в зависимости от физико-механических свойств грунтов и глубины их промерзания) и технология самой заделки опор,

- определены типы фундаментов опор,

- определены типы дефектов опор и их допустимые значения,

- определены величины допустимых отклонений опор от вертикали,
- определены требуемые марки бетона в соответствии с ГОСТ 18105-86 для изготовления опор и наполнения рельсов-струн.

Возведение опор и рельсо-струнной путевой структуры «второго уровня» предполагается выполнять с соблюдением требований российского СНиП 2.05.03-84* «Мосты и трубы». При этом конструкция рельсо-струнного двухколейного пути получается менее материалоемкой, так как между рельсами не требуется создавать сплошного перекрытия.

3.2. Рельс-струна

- определена геометрия каркаса рельса-струны и её внутренняя структура для навесного и подвесного СТЮ во всех их классах исполнения: сверхлёгком, лёгком, среднем, тяжёлом и сверхтяжёлом,
- определены прочностные характеристики стальных наборных канатов струны в соответствии с принятым стандартом СНиП 2.05.03-84* «Мосты и трубы» и способы крепления струн к каркасу,
- в соответствии с принятым в проекте принципом — «чем выше скорость движения юнибуса, тем жёстче и ровнее должен быть путь и сильнее натяжение струны» — определены значения предварительного натяжения рельса-струны (от 10—20 тонн для сверхлёгкой подвесной, до 500—1000 тонн и более для сверхтяжёлой навесной рельсо-струнной трассы) в зависимости от длины пролётов, ширины колеи, массы динамической нагрузки и скорости движения юнибусов,
- получены значения коэффициента надёжности путевой структуры при постоянной и переменной нагрузке на неё,
- определён вес погонного метра различных типов рельса-струны,
- построены графики зависимости статических и динамических прогибов рельса-струны от совокупного веса путевой структуры и подвижного состава и различных скоростей движения последнего,
- определены относительные и абсолютные значения неровностей пути на различных пролётах при различных температурах путевой структуры. Например, для скоростного СТЮ (скорость до 180 км/час) наибольшая неровность на пролёте 30 м будет равна 18 мм (1/1667) при расчётной температуре +55 °С, а наименьшая неровность — 4 мм (1/7500) при температуре 0 °С,
- для повышения динамической ровности пути предложено производить строительный выгиб корпуса рельса из горизонтального положения вверх (противовыгиб) на величину, равную среднему расчётному динамическому значению деформации пролёта от эпюры действующих на рельс-струну вертикальных сил. Принят вариант бесстыкового сопряжения рельсов-струн в путевую структуру, построены соответствующие графики деформативности пути для экстремальных значений температуры окружающей среды,
- проведена оценка контактных напряжений в паре «колесо — головка рельса», которые ниже аналогичных значений на традиционной железной дороге в 4—6 раз благодаря другой геометрии опирания колеса на рельс, определены значения коэффициента сопротивления качению колеса юнибуса,

построены соответствующие эпюры и определён ориентировочный срок службы (до 100 лет) рельса-струны,

- в соответствии с изгибной жёсткостью рельса-струны определены значения радиуса кривизны пути, как статические, так и динамические (не менее 1000 м при скорости движения юнибуса 100 км/час, не менее 10000 м — 350 км/час и не менее 20000 м — 500 км/час).

3.3 Юнибусы

- предложен ряд конструкторских решений пассажирских юнибусов и грузовых юникаров, ориентированных на перевозку разных количеств пассажиров, разных грузов (сыпучие и жидкие грузы, необработанная древесина, контейнеры и др.) по разным структурам рельсо-струнных путей (двухрельсовая с различной шириной колеи и монорельсовая, как навесного, так и подвешного типов),

- для повышения устойчивости юнибуса на рельсах-струнах колёса снабжены двумя ребордами и дополнительными противосходными боковыми роликами, величина клиренса принята отрицательной (порядка 100 мм) и предусмотрены гасители резонансных колебаний,

- определена блочная комплектация юнибусов, опирающаяся преимущественно на лучшее оборудование зарубежного производства,

- проведены расчёты удельного расхода топлива (электроэнергии) на 100 км пути,

- выполнены тягово-динамические расчёты высокоскоростных (до 450 км/час) пассажирских юнибусов, как четырехколёсных, так и многоколёсных (в виде поезда), для движения по колее в 1 м, 1,25 м и 1,5 м, а также городского юнибуса колеёй 1,5 м и городского подвешного моно-юнибуса,

- определены интервалы изменения длины тормозного пути при скоростях движения до 450 км/час для юнибусов разной вместимости и различной массы,

- макеты различных вариантов исполнения юнибусов масштаба 1:5 прошли многократные испытания в аэродинамической трубе ЦНИИ имени академика Крылова (г. Санкт-Петербург), при этом получено значение коэффициента лобового аэродинамического сопротивления менее 0,1,

- проведён анализ влияния указанного коэффициента на технико-экономические показатели высокоскоростных юнибусов,

- выполнена калькуляция расходов на изготовление опытных образцов юнибусов и указан их потенциальный производитель,

- изготовлены и испытаны действующие модели высокоскоростных навесных СТЮ колеёй 1,5 м (масштаб 1:20) и колеёй 2 м (масштаб 1:5), городского колеёй 2 м (масштаб 1:10) и среднего подвешного моноСТЮ (масштаб 1:10).

3.4. Дополнительное оборудование и сопутствующие системы

- для управления движением юнибусов предложено использовать различные варианты систем управления: ручное, полуавтоматическое и автоматическое,

- предложено использовать возможности отечественных автоматических систем управления, реализованных и запланированных к реализации на рельсовом транспорте, в частности, на лёгком метро, а также — зарубежных систем управления, реализованных на действующих городских и междугородных рельсовых транспортных системах, в частности, разработанных французской компанией «Талес», являющейся мировым лидером в данном направлении.

- разработаны варианты конструкций межколейных стрелочных переводов юнибусов,

- выполнена эскизная проработка вариантов архитектуры пассажирских станций и сервисных депо навесного и подвесного СТЮ,

- рассмотрены варианты расположения навесных и подвесных юнибусов на рельсах-струнах.

3.5. Организация транспортного процесса

- определены значения временных интервалов (от 20—30 сек. в часы пик в городском СТЮ, до 3—5 мин. и более в междугороднем скоростном СТЮ) движения юнибусов,

- предусмотрены мероприятия по эвакуации пассажиров в нештатных ситуациях, включающие транспортировку неисправного юнибуса на ближайшую станцию или в депо, использование специального эвакуационного транспортного модуля или, в исключительных экстремальных случаях, поочерёдного спуска на тросе (или веревочной лестнице) пассажиров на землю,

- предусмотрено использование спутниковой системы навигации и беспилотного управления движением юнибуса,

- разработана комплексная система проектирования динамической системы «движущийся юнибус — неподвижная рельсо-струнная путевая структура и опоры» до скоростей 500 км/час, в которой выполнены статические и динамические расчёты с использованием программных комплексов Patran-Marc и Patran-Nastran,

- определены требования к эксплуатации оборудования и к охране окружающей среды,

- рассмотрены варианты расположения СТЮ в различных городах, различных регионах и различных странах. Для Ханты-Мансийского автономного округа — Югры разработана Стратегия создания струнной транспортной сети «второго уровня» — более 3 тыс. км городских, междугородных и грузовых трасс. Возможный социально-экономический эффект от реализации Стратегии оценивается свыше 1,2 триллиона рублей.

Учитывая оценку эффекта в указанном регионе (прирост ВВП, сокращение потерь от ДТП, экономия топлива, минеральных ресурсов и капиталов, улучшение экологии и др.), в масштабах страны величина предполагаемого эффекта от реализации СТЮ оценивается в 100 триллионов рублей.

3.6. Оценка эффективности применения струнного транспорта

- Определён расход металлоконструкций (100—250 кг) и железобетона (0,1—0,3 куб. м) на возведение 1 метра двухколейного рельсо-струнного пути,

- приведены сравнительные оценки материальных затрат на строительство железной дороги обыкновенной (металлоконструкций — 400—800 кг/м, железобетона — 0,5—0,8 куб. м/м), монорельсовой (металлоконструкций — 1500—3000 кг/м, железобетона — 0,5—1,5 куб. м/м) при необходимых земляных работах в объёме 10—50 куб. м/м,

- определены ориентировочные стоимости (1—1,2 млн. долларов) строительства 1 км серийного пути скоростного навесного лёгкого СТЮ колеей 1,5 м в условиях Севера и для сравнения оценены затраты на строительство 1 км железной дороги обыкновенной — 3—5 и высокоскоростной — 50—60 млн. долларов и более. Определена себестоимость создания трасс СТЮ для всех его типов (навесной и подвесной) и классов (сверхлёгкий, лёгкий, средний, тяжёлый, сверхтяжёлый), для различных расчётных скоростных режимов движения (до 100, до 200, до 300, до 400, до 500 км/час), в различных географических условиях, как для системы в целом при различных вариантах исполнения (с контактным проводом или без него, с ручной, полуавтоматической или автоматической системой управления и др.), так и для её составных элементов: рельсо-струнной путевой структуры «второго уровня», подвижного состава и инфраструктуры «второго уровня»,

- определены размеры землеотвода (порядка 100 кв. м) на строительство 1 км рельсо-струнного пути и для сравнения оценены размеры землеотвода (5 га/км) на строительство автомагистрали или железной дороги,

- дана итоговая оценка эффективности строительства СТС, определяемая:
 - высокой экологичностью — выбросы вредных веществ в атмосферу соотносятся как 0,01 на 100 пассажиро-километров в сравнении с 0,1 для традиционного автомобильного транспорта, а уровень электромагнитных излучений оценивается меньшим значением, чем у троллейбуса,
 - малым расходом энергоресурсов — около 0,2—0,3 литра бензина на 100 пассажирокилометров против 1,8—2,5 у автобуса и 1,6—1,9 (при пересчете электроэнергии в бензин) у трамвая и троллейбуса и 1,3—1,6 у монорельса (для соизмеримых скоростей движения),
 - меньшим (в 150—200 раз) отчуждением земли по сравнению с автомобильным и железнодорожным транспортом,
 - достаточно низкой материалоемкостью при достаточно высокой скорости (в 3—4 раза) поточного строительства в сравнении с возведением автомобильной или железной дороги,
 - меньшими финансовыми затратами в сравнении с возведением железной дороги обычной в 2—3 раза, высокоскоростной в 10—15 раз и более, монорельсовой в 15—20 раз и более, на магнитном подвесе в 20—25 раз и более, автобана в 3—4 раза и более.

Возможность реализации СТЮ была продемонстрирована на одном из возможных грузовых вариантов в 2001—2008 г.г. на полигоне под Москвой в г. Озёры.

4. Анализ СТЮ в сравнении с другими транспортными системами и возможности его практической реализации в сложных климатических и географических условиях Российской Федерации (на примере ХМАО — Югры)

Любая транспортная система состоит из трех основных компонентов: путевой структуры, подвижного состава и обеспечивающей инфраструктуры. Оценка стоимости новой транспортной системы в целом является чрезвычайно сложной задачей. Как правило, указывается только стоимость путевой структуры, реже — инфраструктуры, еще реже — подвижного состава. В табл. 4.1 приведены стоимости различных транспортных систем без учета стоимости подвижного состава.

Таблица 4.1

Стоимость транспортных систем

Транспортная система	Описание системы	Проект	Стоимость двухпутной системы за 1 км, млн. USD	Источник информации
Городской СТЮ*	Городская линия, до 100 км/час	г. Ханты-Мансийск	2,4	Разработчик (ООО «СТЮ»)
Скоростной СТЮ*	Междугородная линия, до 300 км/час	Ханты-Мансийск — Сургут, 250 км	1,3	Разработчик (ООО «СТЮ»)
PRT-Ultra	Автоматизированная городская система, до 40 км/час	Аэропорт "Хитроу" в Лондоне	9,4	Производитель www.atsltd.co.uk/prt/faq/
LRT- Трамвай	Городская трамвайная линия, до 60 км/час	Город Портланд, Орегон, США, 13,4 км	43	Техасская ассоциация за развитие общественного транспорта http://www.lightrailnow.org
BRT- Изолированная автобусная линия	Автобусная линия эксклюзивного пользования, до 80 км/час	Город Джаксонвиль, США, 54,4 км	10,6	Транспортный Департамент города Джаксонвиль www.jtaonthemove.com
Монорельс	Автоматизированная городская система, до 60 км/час	Лас Вегас, США, 6,3 км	103	Девелопер-оператор www.lvmonorail.com
Скоростная железная дорога*	Дизельные поезда, до 200 км/час	Вентвортвиль — Лас Вегас, США.	10	Консорциум девелопер-операторов http://www.desertxpress.com/economics.php
Высокоскоростная железная дорога*	Электрифицированная, до 300 км/час	Калифорния, США, 1200 км	35,5	Калифорнийский Департамент Скоростных Железных Дорог www.cahighspeedrail.ca.gov
Высокоскоростная	Электрифицированная	Москва —	31	www.nta-nn.ru

* Данные приведены по материалам предпроектных предложений, для СТЮ — из отчетов по государственным контрактам №7у и №12у, заключённым с администрацией ХМАО-Югры и выполненным в 2007 г.

Транспортная система	Описание системы	Проект	Стоимость двухпутной системы за 1 км, млн. USD	Источник информации
железная дорога*	, до 350 км/час	Нижний Новгород, 400 км		
Железная дорога*	Для перевозки руды, до 80 км/час	Читинская обл., Нарын — Лугокан, 375 км	5,7	www.rzd-partner.ru
Легкое метро	Городское метро на эстакаде, до 80 км/час	г. Москва, Бутово	34	www.metro.molot.ru
Автомобильная дорога*	Междугородная магистраль, до 120 км/час	Москва — Санкт-Петербург, 650 км	13,5	www.g2p.ru
Высокоскоростная железная дорога	Электрифицированная, на эстакаде, до 320 км/час	Тайвань, север — юг, 345 км	43,5	www.niizhb.ru

Анализ данных, представленных в табл. 4.1, показывает, что СТЮ значительно дешевле других транспортных систем, в том числе систем «второго уровня» (на эстакаде) — в 10—20 и более раз.

В табл. 4.2 представлено удельное энергопотребление различных транспортных систем в пересчёте на первичную энергию (для электрифицированных систем — в пересчёте на топливо, расходуемое тепловой электростанцией, с учетом потерь энергии в электрических сетях и др. потерь).

Таблица 4.2

Удельное энергопотребление транспортных систем

Транспортное средство	Расход топлива, л/100 пасс. км	Потребление вторичной энергии, ватт/пасс. км	КПД перевода первичной энергии во вторичную, %	Потребление первичной энергии, ватт/пасс. км
Электрический юнибус городского бирельсового навесного СТЮ (12 пасс.)	—	5,9	33,5 %	18
Электрический юнибус городского подвесного монорельсового СТЮ (12 пасс.)	—	2,1	33,5%	6,3
Электрический юнибус скоростного междугороднего СТЮ (200 км/час, 11 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	—	176	31,0 %	568

магнитном подвесе "Трансрапид", 5 вагонов (430 км/час)				
--	--	--	--	--

Данные (кроме СТЮ) в табл. 4.2 взяты из источника: «Исследование на предмет целесообразности строительства высокоскоростной линии для поезда на магнитном подвесе Берлин-Гамбург», VIEREGG-RÖSSLER GmbH Innovative Verkehrsberatung (Ведущая Германская консалтинговая фирма по транспорту, <http://www.vr-transport.de/transrapid-energy/n003.html>).

Анализ данных, представленных в табл. 4,2, показывает, что СТЮ является самой экономичной транспортной системой из всех известных. Например, в сравнении с самолётом междугородный скоростной электрифицированный СТЮ будет экономичнее в 3,3 раза (неэлектрифицированный СТЮ, с приводом от дизеля, будет энергетически более эффективным в $3,3 \times 90,5\% / 33,5\% = 8,9$ раза), в сравнении со скоростным поездом — в 2,5—3,1 раза, поездом на магнитном подвесе «Трансрапид», который по энергетической эффективности значительно уступает самолёту, — в 9,6 раза. Городской навесной СТЮ, из-за более низких скоростей движения, будет более эффективным в сравнении с междугородным скоростным СТЮ — в среднем в 3,3 раза, а подвесной городской СТЮ будет ещё в 2,9 раза меньше потреблять первичной энергии, или в сравнении, например, с легковым автомобилем — в 31 раз.

Используя аналогичный подход можно предположить, что СТЮ будет экологически самой безопасной для окружающей среды транспортной системой из всех известных.

По ресурсоёмкости и материалоемкости, безопасности, надёжности и долговечности, заявляемые разработчиком характеристики рельсо-струнных дорог, обусловленные их отличительными особенностями, значительно превосходят известные транспортные системы.

Учитывая технико-экономические преимущества, СТЮ может быть эффективно использован также для обеспечения современными коммуникациями отдаленных, северных территорий, в том числе переходов через реки (с помощью струнных автомобильных и железнодорожных мостов и переправ). В настоящее время предполагается реализация транспортной системы «второго уровня» на базе струнных технологий в Ханты-Мансийском автономном округе - Югре. Необходимость создания сети скоростных, экономичных, экологичных, долговечных и безопасных дорог, отвечающих требованиям 21-го века, в одном из самых эффективных субъектов Российской Федерации — ХМАО - Югре — площадь которого превышает территорию большинства европейских государств - очевидна. Реализация такой программы вполне возможна и будет зависеть от административных и финансовых возможностей округа. В дальнейшем, СТЮ может быть развит и интегрирован в транспортную инфраструктуру Российской Федерации. Использование принципиально новых прорывных транспортных технологий улучшит инвестиционный климат в любом регионе России и создаст дополнительные условия для решения основных вопросов социально-экономического развития.

5. О проектировании, сертификации и технической (технологической) реализуемости СТЮ

СТЮ состоит из 3-х самостоятельных частей, отдельно друг от друга создаваемых и сертифицируемых:

- 1) подвижной состав;
- 2) путевая структура «второго уровня» и опоры;
- 3) инфраструктура «второго уровня».

5.1. Подвижной состав

Представленная разработчиком транспортная система СТЮ относится к рельсовому виду транспорта и предназначена для городских и междугородных перевозок пассажиров и грузов.

Подвижной состав для городских перевозок представляет собой самодвижущийся вагон трамвайного типа и, по технической сути, является разновидностью традиционного трамвайного вагона по ГОСТ 8802-78. Трамвайный вагон СТЮ имеет пассажирский салон и ходовые тележки. В пассажирском салоне имеются двери, сиденья, система вентиляции, отопления и кондиционирования салона, остекление, поручни и освещение. Ходовые тележки имеют электропривод, редуктор, ходовую систему с тормозами и подвеской. Перечисленные компоненты традиционного трамвайного вагона серийно выпускают ряд отечественных предприятий и большое множество зарубежных фирм и компаний. Эти компоненты вполне могут быть применены разработчиком в юнибусе или адаптированы к нему, следовательно, юнибус технически и технологически реализуем.

Подвижной состав для междугородных перевозок — рельсовый автомобиль — является разновидностью автомобиля (легкового, грузового, микроавтобуса, автобуса и т.п.), установленного на стальных колёсах.

Представленная разработчиком конструкция рельсового автомобиля, за исключением ходовой системы, состоит из тех же основных компонентов, что и конструкция традиционного автомобиля. Рельсовый автомобиль имеет кузов, двери, двигатель с системами, сиденья, системы вентиляции, отопления и кондиционирования салона, остекление, освещение. Перечисленные компоненты автомобиля также серийно выпускаются многими отечественными и известными зарубежными фирмами и компаниями и могут быть применены разработчиком в рельсовом автомобиле (пассажирском юнибусе или грузовом юникаре) или адаптированы к нему.

Так, разработчиком в конструкции самодвижущегося вагона для городских перевозок предполагается использовать сертифицированную продукцию следующих ведущих зарубежных поставщиков компонентов для производителей городского рельсового электротранспорта:

- VEM Sachsenwerk GmbH, Германия — тяговые электродвигатели;
- L-3 Communications Magnet-Motor GmbH, США-Германия — комплекты тягового электропривода;

- Knorr-Bremse, Германия — компоненты тормозной системы;
- Vossloh Kiepe GmbH, Германия — тяговые преобразователи;
- Bonatrans a.S. Bohumin, Чехия — компоненты ходовой системы;
- Gummi-Metall-Technik GmbH, Германия — резинометаллические детали ходовой системы;
- Webasto, Германия — система кондиционирования;
- Hübner, Германия — двери с механизмом открывания.

Продукция этих фирм поставляется с сертификатами, подтверждающими их соответствие заявленным требованиям.

Использование разработчиком при проектировании испытанных и сертифицированных агрегатов, оборудования, узлов и элементов систем известных фирм и компаний позволит сократить время на разработку подвижного состава и обеспечит его высокое качество и надёжность. Поэтому юнибусы и юникары также технически и технологически реализуемы.

Проектно-конструкторские работы по созданию подвижного состава ведутся разработчиком с учётом требований как международных (правила ЕЭК ООН, EN и др.), так и нормативных документов стран СНГ (ГОСТы, ОСТы и др.) в области транспортного машиностроения. В том числе предполагается использовать следующие нормативные документы:

- уровень внешнего шума по Правилам ЕЭК ООН № 51;
- электромагнитная совместимость по Правилам ЕЭК ООН № 10;
- требования к тормозной системе по ГОСТ 8802-78 и EN 13452-1;
- огнестойкость конструкции по Правилам ЕЭК ООН № 52 и НПБ 20-2000;
- защитные свойства конструкции пассажирского салона по Правилам ЕЭК ООН № 29;
- внутренняя планировка пассажирского салона в части доступности к служебной и аварийной дверям, размеров проходов, размеров пассажирских сидений, расстояния между сиденьями, размеров и конструктивных исполнений служебной и запасной дверей, оснащения огнетушителями, конструкции поручней по Правилам ЕЭК ООН № 36 и 52;
- уровень внутреннего шума в салоне по ГОСТ Р 51616-2000;
- содержание вредных веществ в салоне по ГОСТ Р 51206-2004, ГОСТ 12.1.005-88;
- радиопомехи по ГОСТ Р 51318.12-99;
- отопление, вентиляция и кондиционирование по ГОСТ Р 50993-96;
- электробезопасность по ГОСТ 8802-78.

Выполнение разработчиком при проектировании подвижного состава требований нормативной базы в области транспортного машиностроения, позволит обеспечить соответствие требованиям по безопасности, надёжности, эргономике, охране окружающей среды.

Для проведения работ по разработке нормативной документации и сертификации подвижного состава разработчиком заключено соглашение о сотрудничестве с «Научно-исследовательским институтом электрического

транспорта» (НИИГЭТ), являющимся одним из ведущих институтов Министерства транспорта РФ в области городского рельсового транспорта.

Так, разработчик совместно с НИИГЭТ планирует выполнить следующие работы:

- разработка программ и методик стационарных и ходовых испытаний подвижного состава и его узлов;
- организация комплексных стационарных и ходовых испытаний опытного образца подвижного состава и его сертификации;
- разработка нормативной документации (стандартов) на подвижной состав.

Привлечение разработчиком специализированного института (НИИГЭТ) позволит сократить сроки работ по сертификации подвижного состава.

Применение в конструкции подвижного состава сертифицированной продукции известных фирм, выполнение при проектировании требований российских и международных нормативных документов в области транспортного машиностроения, привлечение специализированного института в области сертификации позволит разработчику:

- качественно и в срок выполнить разработку подвижного состава;
- обеспечить высокие требования к подвижному составу по безопасности, надёжности, эргономике, охране окружающей среды;
- сократить сроки работ по сертификации.

Таким образом, подвижной состав СТЮ, исходя из наличия в России и за рубежом материалов, элементной базы, технологий, оборудования и т.д., технически и технологически реализуем для природно-климатических условий любого региона Российской Федерации, в том числе для территорий Севера и Крайнего Севера.

5.2. Путевая структура и опоры

Рельсо-струнная путевая структура и опоры СТЮ являются разновидностью висячих и вантовых мостов, т.к. представляют собой эстакаду, поэтому при разработке проектной документации головная проектная организация — ООО «СТЮ» — руководствуется отечественными мостовыми нормативами СНиП 2.05.03-84* «Мосты и трубы», которые распространяются на железнодорожные, автодорожные и пешеходные мосты, мосты для линий метрополитена и скоростного трамвая, эстакады, виадуки а также на мосты, совмещенные под рельсовый и автомобильный транспорт.

ООО «СТЮ» имеет соответствующую лицензию № ГС-1-99-02-26-0-77045332-62-038379-1 на «Проектирование зданий и сооружений I и II уровней ответственности в соответствии с государственным стандартом», в том числе на проектирование высокоскоростных транспортных линий и предприятий городского электрического транспорта, канатных дорог, мостов, высотных зданий и сооружений и др., выданную 02.05.2006 г. Росстроем РФ. Кроме того, ООО «СТЮ» при проектировании использует расчетные положения отечественных гражданских норм на проектирование стальных конструкций

СНиП П-23-81, отдельные положения Проекта Европейских Норм (ENV) и новых мостовых норм США (AASHTO), причем использует наиболее «жесткие» требования к безопасности, надёжности и долговечности проектируемого сооружения из каждого перечисленного нормативного документа.

Конструкционные и строительные материалы, используемые для создания всех составных элементов путевой структуры СТЮ, не являются уникальными, а состоят из металлов, сплавов и материалов, выпускаемых в больших объемах отечественными и зарубежными производителями. Они имеются на рынке, сертифицированы и не требуют дополнительных разработок и вложений в технологию производства, а тем более — в создание новых производственных мощностей и их сертификацию.

Корпус и головка рельса выполняются из существующих и изготавливаемых по ГОСТу стальных профилей (в качестве головки струнного рельса в некоторых вариантах его изготовления разработчик предлагает также использовать традиционный железнодорожный рельс, например, Р50), или профилей из высокопрочных алюминиевых сплавов. Эти профили по договорам с конкретными заводами-изготовителями могут поставляться, с сертификатами соответствия, в необходимом количестве в любой регион России, где будет строиться конкретная транспортная система СТЮ.

В качестве элемента струны планируется использовать сертифицированную высокопрочную стальную оцинкованную проволоку диаметром 3 мм по ГОСТ 7348-81 марки ЖБК ТС71915393-053-06 производства Волгоградского завода «ВолгоМетиз», входящего в Череповецкий холдинг (пробную партию этой проволоки завод изготовил по заказу ООО «СТЮ» в 2007 г.). Может также использоваться проволока диаметром 5 мм, 4 мм, 6 мм и других диаметров. СНиП 2.05.03.84* «Мосты и трубы» допускает использование в конструкциях (в районах со средней температурой наружного воздуха наиболее холодной пятидневки ниже -40°C) арматурных канатов, составленных из проволок диаметром 3—5 мм. Струна по своей технической сути является многопроволочным невитым канатом, который из отдельных проволок монтируется на строительной площадке. Струна размещена в закрытом канале рельса, защищенном герметиком — ингибитором коррозии, поэтому, согласно действующим нормативам, допустимо использование проволоки минимальным диаметром 3 мм без цинкового или иного защитного покрытия.

Поскольку путевая структура и опоры СТЮ являются строительными сооружениями, которые монтируются непосредственно на строительной площадке, то транспортная линия «второго уровня» в целом не требует сертификации, как не требуют таковой и другие аналогичные строительные сооружения: автомобильные и железные дороги, мосты, путепроводы, плотины и т.п.

Таким образом, путевая структура и опоры СТЮ, исходя из наличия в России и за рубежом материалов, элементной базы, технологий, оборудования

и т.д., технически и технологически реализуемы в природно-климатических условиях любого региона России, в том числе на Крайнем Севере.

5.3. Инфраструктура

Инфраструктура СТЮ — вокзалы, станции, сервисные гаражи-парки и др. — аналогичны по своим функциям автовокзалам, небольшим автобусным станциям и также являются объектами традиционного строительства.

Строительные и отделочные материалы, лифты и подъемные устройства, сантехническое и др. оборудование, используемые в инфраструктурных объектах СТЮ, могут быть выбраны из числа сертифицированных и присутствующих на рынке лучших производителей, которые обеспечат высокое качество и надежность предоставляемой продукции.

Спецификация строительных материалов и стационарного оборудования может корректироваться Заказчиком на стадии проектирования по ценовым или иным показателям, если эти изменения не несут за собой снижение качества, требований экологии и надёжности строительного объекта.

Строительство и сдача таких объектов происходит по разработанным Росстроем РФ ГОСТам, СНиПам и другим нормативным документам.

Таким образом, инфраструктура СТЮ, исходя из наличия в России и за рубежом материалов, элементной базы, технологий, оборудования и т.д., технически и технологически реализуемы в природно-климатических условиях любого региона России, в том числе на Крайнем Севере.

5.4. Проектирование и экспертиза проектно-сметной документации

Экспертиза проектно-сметной документации СТЮ, строительство трасс СТЮ и инфраструктуры СТЮ, а также ввод их в эксплуатацию, принципиально ничем не отличаются от проектирования и строительства мостов, высотных зданий и сооружений и других сложных и ответственных строительных объектов.

6. Особенности реализации СТЮ

Представленные на экспертизу материалы, а также изложенное выше свидетельствует о серьёзных намерениях разработчика внедрить проект СТЮ в транспортную отрасль Российской Федерации. Выполнен существенный объём исследовательских и опытно-конструкторских работ. Однако, недостаточно раскрыт актуальный вопрос:

«Как будет вести себя СТЮ в условиях вечной мерзлоты и сохранит ли она декларируемые работоспособность и технико-экономические показатели в долгосрочной перспективе?»

Климат на Севере России характеризуют большие перепады температуры окружающей среды (около 100 °С), сильные ветры, высокая влажность и вечная мерзлота. Если указанный температурный диапазон учитывается в расчётах,

ветер также учитывается, то влияние вечной мерзлоты на ровность рельсо-струнного пути, являющейся «ахиллесовой пятой» любой высокоскоростной транспортной системы, в том числе и СТЮ, недостаточно исследована. А именно, вечная мерзлота может нарушить требуемую идеальную ровность пути и, в отдельных случаях, негативно повлиять на строительство СТЮ на Севере, если её неверно учитывать.

6.1. О влиянии вечной мерзлоты на СТЮ

Известно, что в вечной мерзлоте, определяющей так называемую криолитозону северных районов России, наблюдаются такие процессы, как термокарст, морозное растрескивание и морозное вспучивание дисперсных пород земли.

Термокарст представляет собой образование просадочных и провальных форм рельефа вследствие вытаивания подземных льдов или оттаивания мёрзлого грунта. Причиной возникновения термокарста является такое изменение теплообмена на поверхности почвы, при котором глубина сезонного оттаивания начинает превышать глубину залегания подземного льда или сильнольдистого многолетнемёрзлого грунта.

Морозобойное растрескивание поверхности земли связано с её охлаждением в соответствии с неравномерным распределением температур по глубине в мёрзлых породах. Возникают сжимающие и растягивающие напряжения, накопление которых приводит к разрыву пород и образованию трещин.

Морозное пучение дисперсных пород связано с поднятием поверхности земли, обусловленным увеличением объёма замёрзшей влаги и льдообразованием вследствие миграции воды при промерзании грунта.

Указанные особенности вечной мерзлоты особенно негативно сказываются при прокладке традиционных дорог, идущих в земляной насыпи, которая летом аккумулирует тепло. Это приводит к неравномерному таянию мерзлоты и просадкам насыпи.

По оценке разработчиков СТЮ лишён этих недостатков, т.к. точно опирается на вечную мерзлоту, а свая фундамента при этом может быть размещена достаточно глубоко и соответствующим образом выполнена, чтобы не только не аккумулировать тепло, но и переносить вглубь вечной мерзлоты зимой холод для обеспечения её стабилизации на весь период эксплуатации трассы «второго уровня». В мировой практике используются подобные решения (газопровод на Аляске, открытые свайные фундаменты высотных домов на Севере и т.п.), но в СТЮ это требует дополнительных исследований. Хотя СНиП 2.05.03-84* «Мосты и трубы» предусматривает проектирование мостов на вечной мерзлоте, а разработчик имеет лицензию № ГС-1-99-02-26-0-7704533262-038379-1 от 02.05.2006 г., выданную Росстроем на проектирование зданий и сооружений (в том числе высокоскоростных линий), в том числе в регионах со сложными инженерно-геологическими условиями —

просадочными, набухающими, карстовыми и многолетнемёрзлыми. Однако, проектирование СТЮ в этих условиях имеет свои специфические требования.

Подвесной СТЮ, хотя и менее подвержен влиянию нестабильного поведения мерзлоты грунта, более критичен к сильным боковым ветрам ввиду малой жёсткости рельса-струны на изгиб и кручение. Хотя разработчик и исследовал максимальный угол отклонения кабины городского подвесного юнибуса модели Ю-372П от вертикали под совместным воздействием максимального асимметричного размещения пассажиров и силы бокового штормового ветра (угол наклона $3,5^\circ$), эти исследования необходимо продолжить с учётом установки опор на вечномёрзлых грунтах. Опыт успешной эксплуатации канатных дорог, канаты в которых вообще не имеют крутильной жёсткости, показывает, что данная проблема также имеет свои технические решения, но это требует дополнительных исследований.

6.2. О высокой технологичности СТС

Указанное понятие в рассматриваемом случае включает технологию изготовления рельс-струн и технологию возведения опор, укладку и крепление на них предварительно напряжённых струн.

Технологию изготовления струнного рельса можно назвать достаточно простой. Заводской прокат головки рельса и его корпуса, укладка и крепление в нём наборных арматурных канатов, заливка корпуса наполнителем, приварка к нему длинной и узкой металлической полосы для качения колеса юнибуса, с количеством металла 50—75 кг на один погонный метр (это — материлоёмкость традиционного железнодорожного рельса) — подобные операции широко распространены в различных строительных сооружениях. Эти операции в совокупности значительно менее сложны, чем, например, при строительстве чрезвычайно массивных стальных и сталежелезобетонных большепролётных мостов или балочных эстакад традиционных монорельсовых дорог. Разработчиком уже было продемонстрировано высокопроизводительное наполнение длиномерного и узкопрофильного корпуса струнного рельса бетоном, без раковин и трещин, на опытном участке в г. Озёры, где в трубу с внутренним диаметром 82 мм с девятью канатами К-7 диаметром по 15,2 мм каждый был закачан под давлением бетон при температуре -7°C .

Струна в струнном рельсе по своей сути является несущей арматурой, поэтому требования к ней будут теми же, что и к предварительно напрягаемой арматуре предварительно напряжённых железобетонных изделий. Поскольку бетон закачивается под значительным давлением в замкнутый контур рельса, то смонтированный струнный рельс является по своей сути трубобетоном, в котором легче контролировать и исключать появление тех же раковин и трещин, ослабляющих конструкцию, чем в традиционных железобетонных изделиях. Наличие же на внешней поверхности бетона, со всех его сторон, сплошной листовой стали исключит попадание в бетон влаги из внешней среды. Это, соответственно, исключит коррозию стальных канатов и увеличит

срок их службы в сравнении с традиционными мостовыми железобетонными конструкциями, которые проектируются на срок службы 50—100 лет.

Технология возведения опор и укладки рельсов-струн на них в летний период времени может быть осуществлена без строительства соответствующих подъездных дорог или подмостей, путём их монтажа с уже построенных участков путевой структуры, с помощью специального технологического оборудования. Зимой, по мёрзлому грунту, это возможно по более простым технологическим схемам.

6.3. О безопасности транспортного процесса в СТЮ и его комфорте

Обсуждаемая система, как и любая другая высокоскоростная, чувствительна к различного вида внешним воздействиям, в том числе и механическим. При этом необходимо отметить, что СТЮ имеет, в отличие от традиционного железнодорожного транспорта, противосходную систему. Это значительно снизит вероятность схода юнибуса с путевой структуры, учитывая и тот фактор, что, например, крепление массивного предмета на высоте 5—6 м и более на узких рельсах, не имеющих сплошного полотна, будет для террориста значительно более сложной задачей, чем при выводе из строя традиционной железной дороги.

Вследствие возможного влияния на СТЮ вечной мерзлоты может быть нарушена ровность пути. Поэтому на опорах должны быть предусмотрены механизмы юстировки пути, исключая последствия просадок и наклонов опор.

При движении по отдельным участкам подвесного струнного пути (в первой и последней четверти каждого пролёта) возможна наклонность пола моно-юнибуса, однако предполагается, что этот наклон будет в пределах допустимых наклонов пола для городского автомобильного, трамвайного и автобусного сообщения.

В экстремальной ситуации психологическое состояние пассажира не будет критическим, поскольку в случае остановки юнибуса на трассе вдали от станции в лютый мороз и пургу предполагается незамедлительная доставка до ближайшей станции следующим за ним исправным юнибусом, интервал движения которых будет составлять всего 1—2 минуты.

6.4. О диагностике технического состояния пути и его ремонтпригодности

Диагностика технического состояния рельсо-струнного пути может быть осуществлена установкой соответствующих датчиков, с целью контроля его состояния и дистанционной передачи информации в службу диагностики и технического обслуживания пути.

Уровень ремонтпригодности пути достаточно высок. Например, закрытая преднапряжённая струна СТЮ значительно менее уязвима, чем,

например, преднапряжённый открытый канат традиционной канатной дороги, однако, в случае обрыва струны по какой-либо причине, действующая в ней сила преднапряжения (до 500 т) вызовет её сокращение по длине в специально устроенном для неё канале рельса. Струна выйдет из строя и вместе с ней упадёт усилие преднапряжения в рельсе-струне (останется только преднапряжение в головке и корпусе рельса, т.е. только 20—30% от первоначального усилия). По такой дороге может двигаться технологическое оборудование, поэтому возможна замена струны или усиление рельса дополнительной внешней струной в достаточно сжатые сроки. Аналогичная аварийная ситуация, например, в традиционных мостах — обрыв ванты, несущего каната или несущей пряди рабочей преднапряжённой арматуры — приводит к обрушению моста и длительным ремонтным работам.

7. Выводы и рекомендации

7.1. Материалы представлены разработчиком в достаточном объёме и дают представление о целях, задачах, инвестиционном характере, особенностях и направлениях реализации СТЮ в Российской Федерации и за рубежом.

При развитии транспортной системы любого региона и России в целом указанный вид транспорта может быть использован как один из составных элементов, наряду с другими, традиционными видами транспорта.

7.2. Для практической реализации СТЮ необходимо перейти от инвестиционной стадии проекта к этапу технического проектирования, учитывающего особенности создания и эксплуатации принципиально новой транспортной системы «второго уровня» в конкретных природно-климатических условиях. Поскольку точная и надёжная оценка любого конкретного проекта СТЮ может быть выполнена только после проведения технико-проектных работ по конкретному варианту, т.к. вместо многообразия возможных представлений выполнения элементов СТЮ, будут изложены, со всеми необходимыми расчётами и обоснованиями, конкретные технические решения по инфраструктуре, путевой структуре и подвижному составу.

7.3. На этапе технического проектирования необходимо провести дополнительно комплекс работ, направленных на обеспечение эффективной реализации СТЮ. При практической реализации СТЮ в высокоскоростном пассажирском варианте необходимо проведение дополнительных исследований, касающихся обеспечения безопасности и надёжности функционирования СТЮ (т.е. возможностей СТЮ функционировать устойчиво и безопасно для жизни, здоровья, имущества пассажиров, обслуживающего персонала), а также психологического комфорта пассажиров.

7.4. Учитывая возможность совершенствования Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 г. и направлений развития транспортного комплекса страны, разработчику СТЮ целесообразно инициировать в установленном порядке организацию целевой программы государственно-частного партнёрства для реализации проектов

федерального значения и создания нового вида транспорта Российской Федерации – Струнного транспорта.

В качестве практического шага указанного партнерства целесообразно на полигоне Техничко-внедренческой зоны г. Дубна (РосОЭЗ), резидентом которой является подразделение СТЮ ООО «СТЮ-Дубна», построить основную линейку трасс и видов СТЮ для опытной эксплуатации и последующей сертификации.

Заместитель директора по научной работе

Института проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН,

доктор технических наук, профессор



Искандеров Ю.М.