

**РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ:
РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ
ТЕХНОЛОГИИ И ИХ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ
ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

***Материалы
международной научно-практической
конференции***

Москва 2004

А. Э. Юницкий

Струнная транспортная система — транспорт XXI века

Доля транспортных издержек в стоимости продукции во всем мире постоянно растет. Неблагоприятные климатические и географические условия в России приводят к еще более высокому уровню транспортных издержек. Это связано как с ростом дальности перевозок, так и с увеличением стоимости всех составных элементов транспортного процесса — от размера заработной платы и стоимости материалов при строительстве дорог и изготовлении подвижного состава до стоимости топлива, расходуемого этим подвижным составом. При этом средний уровень транспортных издержек в России выше, чем в странах Запада по экспертным оценкам примерно на 35 %. В отдельных регионах они еще выше, особенно в Сибири и на Дальнем Востоке.

В настоящее время наибольший объем перевозок во всем мире осуществляют железные дороги, автомобильный транспорт и авиация.

К преимуществам авиационного транспорта относится высокая скорость движения. Однако на средних расстояниях (до 1000—1500 км) скорость перемещения пассажира "от двери до двери" остается невысокой

(150—200 км/ч). К недостаткам авиационных перевозок относится высокий расход топлива (10—15 литров на 100 пассажиро-километров), высокая стоимость самолетов (до 100 млн дол. и более) и инфраструктуры (современный аэропорт стоит 10 млрд дол. и более). Соответственно, экологическая опасность и себестоимость авиаперевозок — самые высокие из всех существующих видов транспорта.

К преимуществам железнодорожного транспорта следует отнести низкие эксплуатационные издержки. Во-первых, сопротивление качению стального колеса по стальному же рельсу в 20—50 раз ниже сопротивления качению резинового колеса по дорожному полотну. Поэтому мощность привода подвижного состава на железной дороге составляет 1—3 кВт на тонну перевозимого груза, на автомобильном транспорте — 10—20 кВт/т. Соответственно различается и расход топлива на одну и ту же транспортную работу. Данное преимущество легко реализуется на железной дороге только благодаря наличию колеи, так как железнодорожный состав может иметь сколь угодно большую длину, автопоезд же не может иметь больше одного прицепа из-за неустойчивого движения по дороге, особенно в период торможения. Во-вторых, срок службы рельсов — 20—40 лет, асфальтобетонного покрытия — 5—10 лет. В-третьих, в северных странах железнодорожные пути практически нет необходимости чистить от льда и снега, содержание же автомобильных дорог зимой обходится достаточно дорого, а ведь на большей части России зимний период времени превышает летний. Кроме этого, железнодорожный транспорт отличается высокой безопасностью движения, которую обеспечивает имеющийся на каждом колесе гребень (реборда), препятствующий сходу колеса с рельса.

К преимуществам автомобильного транспорта относится невысокая стоимость подвижного состава и самих дорог, а также высокая мобильность и компактность автомобилей, что упрощает и удешевляет инфраструктуру: подъездные пути, погрузочные и разгрузочные терминалы, ремонтные мастерские и др. К существенным недостаткам автомобильного транспорта относится высокая аварийность и экологическая опасность, обусловленные тем, что колесо удерживается на дорожном полотне только за счет сил трения, а также тем, что дорога расположена непосредственно на поверхности земли, то есть там, где и находится 99,9 % живых организмов, в том числе и человек, и сосредоточена основная биомасса биосферы планеты.

К общим недостаткам двух последних видов транспорта следует отнести высокую материалоемкость путевой структуры, требующей для своего сооружения большого количества ресурсов как материальных (грунт, песок, щебень, бетон, асфальтобетон, сталь и др.), так и финансовых. Очень материалоемкой и, соответственно, дорогой является и насыпь дорог: расход грунта может достигать 100 тыс. кубических метров на километр трассы, а в ряде мест она вообще не может быть устроена, например, при прохождении через водные препятствия, болота и вечную мерзлоту. При уст-

ройстве насыпей и выемок наносится серьезный ущерб Природе как изъятием и перемещением большого количества грунта, так и уничтожением значительного количества плодородного слоя, гумус в котором создавался живыми организмами в течение миллионов лет. В большинстве случаев насыпь перекрывает миграцию животных, перемещение грунтовых и поверхностных вод, поэтому ущерб от ее сооружения зачастую превышает ее стоимость. Дороги также требуют большого количества дорогостоящих искусственных сооружений: мостов, путепроводов, водопропускных труб и др. В отдельных случаях стоимость земли, отнимаемой у землепользователя под дорогу, превышает стоимость самой дороги.

Таким образом, в настоящее время возникает острая необходимость в появлении принципиально новой транспортной системы, основанной на новых технологиях и новых стандартах, способных привести к радикальным изменениям в способах транспортировки.

Будущая транспортная система должна удовлетворять многим противоречивым требованиям: высокая пропускная способность при малой площади занимаемой земли и низких затратах на содержание и ремонт путей сообщения; минимальное негативное воздействие на окружающую среду при сохранении большого суточного пробега транспортного средства; высокая средняя скорость движения при снижении расхода топлива и числа дорожно-транспортных происшествий; путь движения должен быть пригоден для движения и маневрирования общественного и индивидуального транспорта.

Транспортной системой, удовлетворяющей требованиям XXI века, станет "Струнный транспорт Юницкого" (СТЮ). СТЮ лишен недостатков железнодорожного и автомобильного транспорта. В то же время он имеет преимущества авиации и надземных дорог, так как транспортный модуль движется над землей по ажурной путевой структуре.



Рис. 1. СТЮ в городе, скорость до 150 км/ч

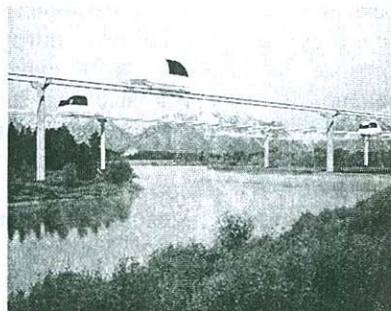
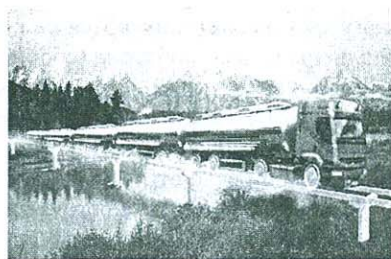


Рис. 2. Высокоскоростная трасса, скорость до 500 км/ч

СТЮ представляет собой специальный автомобиль на стальных колесах, размещенный на двух рельсах-струнах, установленных на опорах. Струнная транспортная система станет самой дешевой, долговечной, экономичной и безопасной системой для перевозок пассажиров и грузов



*Рис. 3. Грузовой поезд
для перевозки жидких грузов*



*Рис. 4. Грузовой поезд
для перевозки леса*

в городе (рис. 1), между городами, странами и континентами (рис. 2), а также для специализированной перевозки сыпучих, жидких (рис. 3), штучных (рис. 4) и контейнерных грузов. Преимущества СТЮ перед другими видами транспорта обусловлены комплексом его конструктивных особенностей:

Рельс-струна — это обычная неразрезная (по длине) стальная, железобетонная или сталежелезобетонная балка, оснащенная головкой рельса и дополнительно усиленно армированная предварительно напряженными (растянутыми) струнами. Максимальное натяжение струн на один рельс (в зависимости от длины пролета и массы подвижного состава) — 100—500 т. Сочетает в себе свойства гибкой нити (на большом пролете между опорами) и жесткой балки (на малом пролете — под колесом транспортного модуля и над опорой). Благодаря этому качение колеса модуля будет плавным, безударным как в середине пролета, так и над опорой. Рельс-струна характеризуется высокой прочностью, жесткостью, ровностью, технологичностью изготовления и монтажа, низкой материалоемкостью, широким диапазоном рабочих температур ($+70 \div -70$ °C). Представляет собой идеально ровный путь для движения колеса, так как по всей своей длине не имеет технологических и температурных швов (головка рельса сварена в одну плеть).

Струна — стальной канат отечественного или зарубежного производства. В зависимости от условий монтажа и эксплуатации могут использоваться обычные канаты, канаты с защитным покрытием или в защитной оболочке, в том числе в защитной смазке.

Путевая структура представляет собой два рельса-струны, образующие колею шириной 2000 мм. Имеет стрелочные переводы, аналогичные трамвайным. Конструкция может быть выполнена сборно-разборной. Колея в СТЮ шире железнодорожной, а центр масс подвижного состава расположен ниже, поэтому движение по такой путевой структуре будет в 2—3 раза более устойчивым.

Опоры — подразделяются на анкерные, воспринимающие горизонтальную нагрузку от струн (устанавливаются через 1—5 км) и поддерживаю-

щие, воспринимающие вертикальную нагрузку (устанавливаются через 10—50 м и более). Опоры могут быть выполнены из железобетона (сборного или монолитного) или из стальных сварных конструкций. Фундаменты опор в зависимости от грунтов на трассе, могут быть свайными (забивные, винтовые, буронабивные или буриинъекционные сваи) либо плитными — монолитными или сборными. Опоры и неразрезной рельс-струна образуют жесткую рамную конструкцию, поэтому несущая способность опор увеличена, например, в сравнении с монорельсовой дорогой в 8 раз (стоимость опор, соответственно, снижена). Если опоры СТЮ заменить на насыпь такой же высоты, то насыпь будет дороже опор.

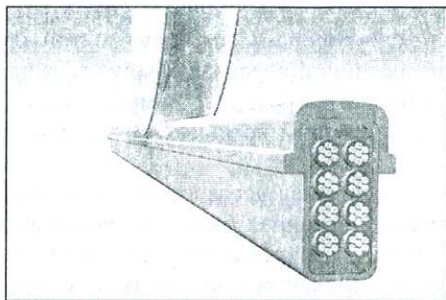


Рис. 5. Конструкция рельса-струны и колеса

Колесо выполнено из высокопрочной стали (рис. 5). Имеет независимую "автомобильную" подвеску и две реборды высотой 50 мм каждая. Коэффициент сопротивления качению — 0,0005 (ниже, чем у железнодорожного колеса, имеющего коническую поверхность опирания, в 1,5—2 раза). Пробег — до 1 млн км. Стальное колесо для СТЮ дешевле резинового и в 5—10 раз долговечнее.

Транспортный модуль (юнилет) представляет собой разновидность автомобиля, установленного на стальных колесах. Как и автомобиль, может иметь привод от дизеля, бензинового двигателя, турбины либо может иметь комбинированный привод. При необходимости двигатель может работать на экологически чистом источнике энергии: природном газе, водороде, спирте, сжатом воздухе, маховичном накопителе энергии, солнечной, ветровой и др. энергии. Кроме того, СТЮ может быть электрифицирована с использованием внешнего источника электрической энергии либо может быть использован автономный источник энергии (установленные на борту юнилета аккумуляторы, накопители энергии конденсаторного типа, топливные батареи и др.)

Высокоскоростной юнилет (рис. 2) имеет уникальную форму, обладающую самым низким коэффициентом аэродинамического сопротивления среди всех известных транспортных средств ($C_x = 0,07—0,1$, что лучше, чем у современного спортивного автомобиля в 3—4 раза; эти результаты полу-

чены путем многократных продувок в аэродинамической трубе). Юнилет — самое экономичное транспортное средство из всех известных. Сверхэкономичность особенно проявляется при невысоких, например, традиционных для автомобильного транспорта скоростях движения — 100 км/ч. При установившемся движении на горизонтальном участке пути 50-местному юнилету весом 10 т при такой скорости необходима мощность двигателя в 9 кВт (из них — 6,6 кВт на аэродинамическое сопротивление, 1,5 кВт — на сопротивление качению стального двухребордного колеса по стальному рельсу, 0,9 кВт — потери в трансмиссии). При этом расход топлива на 100 км пути составит 2 литра (или 0,04 л/100 пасс.·км, или 0,4 л/1000 пасс.·км; лучшие легковые автомобили расходуют в 20—30 раз больше горючего — 1—1,5 л/100 пасс.·км).



Рис. 6. Городской автобус на рельсе-струне, смонтированном в асфальт

При необходимости на путевую структуру СТЮ по требованию заказчика может быть установлен практически любой известный легковой или грузовой автомобиль (рис. 3, 4), микроавтобус или автобус (рис. 6).

Инфраструктура. Включает станции, вокзалы, погрузочные и разгрузочные терминалы, гаражи, заправочные станции. Благодаря подъему путевой структуры на второй уровень расширяются возможности по устройству станций и терминалов. Благодаря более благоприятным режимам эксплуатации рельсового автомобиля, уменьшается потребность в гаражах и заправочных станциях в сравнении с традиционным автотранспортом. Компактность юнилета позволяет уменьшить размер и, соответственно, стоимость вокзалов, станций и длину перрона в 5—10 раз в сравнении с железнодорожными.

Проектные решения. Путевая структура и опоры СТЮ спроектированы как транспортная эстакада в соответствии с требованиями российских нормативов (СНиП 2.05.03-84* "Мосты и трубы"), основных положений мостовых норм США и стран ЕС.

Основные характеристики СТЮ

Характеристика	Ед. изм.	Кол-во
1. Пропускная способность:		
- однопутная трасса:		
• пассажирская	млн пасс./год	до 10
• грузовая	млн т/год	до 2
- двухпутная трасса:		
• пассажирская	млн пасс./год	до 50
• грузовая	млн т/год	до 20
2. Минимальный радиус кривых	м	20
3. Расход топлива (при уклоне затяжных подъемов до 20 % и скорости 100 км/ч):		
- пассажирские перевозки	л/100 пасс.·км	0,04—0,08
- грузовые перевозки	л/100 т·км	0,1—0,2
4. Себестоимость перевозок:		
- пассажирские перевозки	дол./100 пасс.·км	0,3—0,8
- грузовые перевозки	дол./100 т·км	0,5—0,8
5. Себестоимость строительства усредненной двухпутной среднескоростной трассы (без инфраструктуры)*:		
- на равнине	тыс. дол./км	400—500
- на слабопересеченной местности	тыс. дол./км	500—600
- на сильнопересеченной местности	тыс. дол./км	600—700
- в горах	тыс. дол./км	700—900

* Для сравнения: стоимость высокоскоростной железной дороги — 10—20 млн дол./км, монорельсовой дороги — 5—15 млн дол./км, поезда на магнитном подвесе — 20—50 млн дол./км, метро — 50—100 млн дол./км, обычной железной дороги — 1—2 млн дол./км, современной многополосной автомагистрали (автобана) — 5—10 млн дол./км, канатной дороги — 0,5—1,5 млн дол./км.

При малых объемах перевозок (до 200 тыс. пасс./год и 200 тыс. т/год) могут быть использованы облегченный подвижной состав (с нагрузкой на колесо до 1 т) и облегченная путевая структура, что снизит стоимость СТЮ в 1,5—2 раза.

Эксплуатация СТЮ. Благодаря более низким контактным напряжениям в паре "колесо—рельс" (50—60 кгс/мм² против 100—120 кгс/мм² на железной дороге), износ головки рельса будет менее интенсивным, чем на железнодорожном транспорте. Толщину головки рельса закладывают на весь срок службы СТЮ (50—100 лет) — например, для обеспечения объема перевозок 500 млн т достаточно толщины головки в 20—25 мм.

Трассы являются всепогодными. Не требуют в зимнее время при отрицательной температуре воздуха очистки от снега и льда, если высота опор превышает высоту снежного покрова.

Эксплуатационные издержки по трассе сводятся лишь к периодической защите металлоконструкций от коррозии (раз в 10—20 лет). При изготовлении корпуса рельса-струны из нержавеющей стали, а опор — из железобетона эксплуатационные издержки по дороге будут заключаться в сезонном осмотре конструкции (для выявления строительных дефектов).

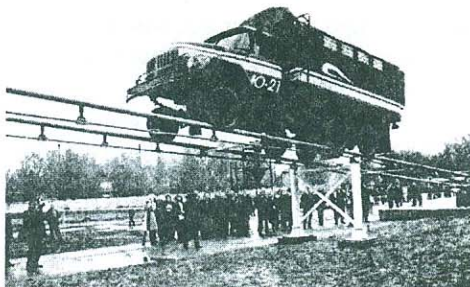


Рис. 7. Испытательный стенд

Апробация. Технология строительства путевой структуры и опор, а также основные узлы и элементы СТЮ в 2001—2004 гг. прошли успешную апробацию на однопутном испытательном стенде, построенном в России (г. Озеры Московской области, рис. 7). Основные характеристики стенда: протяженность — 150 м, суммарное натяжение струн — 450 тс (при +20 °С), высота опор — до 15 м, максимальный пролет — 48 м, максимальная масса подвижной нагрузки — 12 т, относительная жесткость наибольшего пролета под нагрузкой — 1/1500, металлоемкость путевой структуры — 120 кг/м, уклон трассы — 100 ‰. В зимнее время модифицированный грузовой автомобиль ЗИЛ-131, установленный на стальные колеса, отвечающие стандартам СТЮ, уверенно идет на подъем при толщине льда 50 мм (лед намораживали специально, так как он не удерживается на рельсе и после первого же прохода колеса разрушается и сбрасывается им с рельса). На стенде испытывались:

- различные струны (витые канаты диаметром 27 мм из проволоки диаметром 3 мм и диаметром 15,2 мм из проволоки диаметром 5 мм);

- анкеровка струн;

- релаксация предварительно напряженных струн (релаксация каната К-7 диаметром 15,2 мм, расчетные напряжения в котором составляют 10400 кгс/см², в течение 3-х лет не зафиксирована);

- свайные, буро-инъекционные и плитные фундаменты промежуточных и анкерных опор;

- специальный высокопрочный бетон для рельса-струны;

- двухребордное стальное колесо, задемпфированное резиновой прослойкой между ободом и ступицей (показало надежность и устойчивость движения — за 3 года эксплуатации не произошло ни одного касания ребордой головки рельса, так как штатный режим движения обеспечивает тороидальная опорная поверхность колеса);

- сцепление колеса с рельсом (минимальный коэффициент трения в паре "колесо—рельс" во время дождя и оледенения — 0,15—0,2, что позволяет проектировать высокоскоростные трассы СТЮ с затяжными уклонами до 150—200 ‰);

правильность расчетов прочности и жесткости опор, путевой структуры и струн под воздействием нагрузок от подвижного состава, сезонного изменения температур, ветра, оледенения и др.

Таким образом, сегодня имеются все возможности для проектирования и строительства недорогих, надежных, долговечных, быстровозводимых и быстро окупаемых струнных дорог.