

Грузовой струнный транспорт

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 50%. В отдельных регионах они еще выше, особенно в Сибири и на Дальнем Востоке. Что и не удивительно, так как до сих пор санный путь под названием "зимники" используется для движения современных автомобилей в Якутии, Магаданской области и некоторых других северных регионах страны.

В настоящее время наибольший объем грузовых перевозок во всем мире осуществляет железнодорожный и автомобильный транспорт. Сравнительный анализ этих транспортных систем показывает как наличие их существенных преимуществ друг перед другом, так и серьезных недостатков.

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...2 кВт на тонну перевозимого груза, на автомобильном транспорте – 10...20 кВт/т. Соответственно различается и расход топлива на одну и ту же транспортную работу, а ведь стоимость энергии (топлива или электрической энергии для электрифицированных дорог) является основной эксплуатационной издержкой, влияющей на себестоимость перевозок. 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, 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 отличает высокая безопасность движения, которую обеспечивает имеющийся на каждом колесе гребень (реборда), препятствующий сходу колеса с рельса.

К преимуществам автомобильных перевозок 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 90% живых организмов, в том числе и человек, и сосредоточена основная биомасса биосферы планеты.

К общим недостаткам обоих видов транспорта следует отнести высокую материалоемкость путевой структуры, требующей для своего сооружения большого количества ресурсов, как материальных (песок, щебень, бетон, асфальтобетон, сталь и др.), так и финансовых. Очень материалоемкой и, соответственно, дорогостоящей 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 – при прохождении через болота и вечную мерзлоту. При устройстве 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. 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 (в 21-ом веке стоимость земли, как весьма ограниченного ресурса на нашей планете, будет существенно расти, поэтому она может составить основную часть стоимости вновь возводимых дорог).

Грузовой струнный транспорт Юницкого (СТЮ) лишен недостатков железнодорожного и автомобильного транспорта, в то же время он имеет преимущества надземных дорог: канатных, конвейерных, монорельсовых и систем с магнитным подвешиванием подвижного состава, так как путевая структура в нем поднята над землей.

Грузовой СТЮ представляет собой автопоезд на стальных колесах, размещенный на балках-струнах, установленных на опорах. Струнная транспортная система станет самой дешевой, долговечной, экономичной и безопасной системой для перевозки сыпучих (рис. 1), жидких (рис. 2), штучных (рис. 3) и контейнерных грузов. Преимущества СТЮ перед другими видами транспорта обусловлены комплексом его конструктивных особенностей:

Балка-струна – это обычная неразрезная (по длине) стальная, железобетонная или сталежелезобетонная балка, оснащенная головкой рельса и дополнительно армированная предварительно напряженными (растянутыми) струнами (рис. 4). Максимальное натяжение струн на одну балку – до 50 тонн (при температуре +20 °С). Балка-струна характеризуется высокой прочностью, жесткостью, ровностью, технологичностью изготовления и монтажа, низкой материалоемкостью (сталь: 20...50 кг/м, бетон: 0,006...0,03 куб. м/м), широким диапазоном рабочих температур (+70...-70 °С). 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). Несущая часть балки-струны спроектирована как балка моста или путепровода (по тем же нормативам) и имеет относительную жесткость 1/600...1/800 под воздействием колесной нагрузки (до 12 тонн на ось). Стоимость смонтированной балки-струны – от 40 тыс. USD/км, что, например, ниже стоимости смонтированного тяжелого железнодорожного рельса.

Струна – пучок стальных высокопрочных проволок диаметром 3...5 мм каждая (невитой канат) или несколько арматурных семипроволочных канатов К-7 диаметром 9...16 мм отечественного или зарубежного производства. В зависимости от условий монтажа и эксплуатации могут использоваться обычные канаты (например, для каната диаметром 15,2 мм разрывное усилие – 24...26 тонн, допустимое усилие в путевой структуре – 14 тонн), канаты с защитным покрытием или в полиэтиленовой оболочке, в том числе в защитной смазке (например, для каната диаметром 15,2 мм в полиэтиленовой оболочке разрывное усилие – 26...28 тонн, допустимое усилие – 20 тонн). Стоимость каната 600...1500 USD/т.

Путевая структура представляет собой две балки-струны, образующие колею шириной 2000 мм. Имеет стрелочные переводы, подобные железнодорожным. Может быть установлена на опорах, на грунте (на специальной шпальной решетке с шагом шпал 3...9 м), или в грунте на песчаной, щебеночной или бетонной продольной (шириной 0,2...0,5 м) подушке. Конструкция может быть выполнена сборно-разборной, поэтому, например, на период взрывных работ в карьере, путевая структура может быть демонтирована. Колея в СТЮ шире железнодорожной почти в 1,4 раза, а центр масс подвижного состава расположен ниже в 1,2...1,5 раза, поэтому движение по такой путевой структуре будет в 1,5...2 раза более устойчивым.

Опоры – подразделяются на анкерные, воспринимающие горизонтальную нагрузку от струн (устанавливаются через 1...5 км) и поддерживающие, воспринимающие вертикальную нагрузку (устанавливаются через 10...20 м). Для трасс СТЮ могут быть использованы либо спроектированные ранее типовые опоры высотой от 0,5 до 20 м, выполненные из железобетона (сборного или монолитного), или из стальных сварных конструкций, либо – дополнительно спроектированные опоры по специальным требованиям заказчика. Фундаменты опор, в зависимости от грунтов на трассе, могут быть свайными (забивные, винтовые, буронабивные или буроинъекционные сваи), либо плитными – монолитными или сборными. Опоры могут быть установлены на любых грунтах, имеющих в России – от болот до вечной мерзлоты. При необходимости шпальная решетка и путевая структура могут быть заморожены в лед (для ледовых переправ и зимников). Опоры и неразрезная балка-струна образуют жесткую рамную конструкцию, поэтому несущая способность опор увеличена, например, в сравнении с монорельсовой дорогой в 8 раз (стоимость опор, соответственно, снижена). Стоимость промежуточной опоры – от 100 USD, анкерной – от 5 тыс. USD. Если опоры СТЮ заменить на насыпь такой же высоты, то насыпь будет дороже опор.

Колесо – выполнено из высокопрочной стали (рис. 4). Имеет независимую "автомобильную" подвеску и две реборды высотой 40 мм (против колесной пары и одной реборды высотой 30 мм на каждом колесе в железнодорожном транспорте). Между ободом и ступицей имеет демпфирующую и звукопоглощающую резиновую прокладку. 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.

Автопоезд – имеет тягач, выполненный на базе самосвала МАЗ, и 5...10 автомобильных прицепов с боковой разгрузкой и грузоподъемностью 5...15 тонн каждый. Единственным изменением в их конструкции станет замена резиновых колес на спроектированные и прошедшие экспериментальную проверку на полигоне стальные колеса. По требованию заказчика под стандарты СТЮ может быть переоборудован любой автомобильный тягач и любой прицеп, имеющий нагрузку на колесо до 6 тонн. Стоимость автопоезда – от 70 тыс. USD (карьерный автосамосвал такой же грузоподъемности стоит от 500 тыс. USD).

Инфраструктура. Включает погрузочные и разгрузочные терминалы, гаражи, заправочные станции. Благодаря подъему путевой структуры на второй уровень расширяются возможности по устройству терминалов. Благодаря более благоприятным режимам эксплуатации рельсового автомобиля, уменьшается потребность в гаражах и заправочных станциях в сравнении с традиционным автотранспортом.

Проектные решения. Путевая структура и опоры СТЮ спроектированы как транспортная эстакада в соответствии с требованиями СНиП 2.05.03-84* "Мосты и трубы", поэтому не требуют сертификации. Для каждой спроектированной трассы СТЮ, как и для любого транспортного сооружения, необходима лишь экспертиза в соответствующих государственных структурах.

Основные характеристики грузовых СТЮ

Характеристика	Ед. изм.	Количество
1. Пропускная способность:		
- однопутная трасса	млн. т/год	до 5
- двухпутная трасса	млн. т/год	до 50
2. Максимальная масса поезда при уклоне затяжных подъемов:		
- 10 ‰	т	300
- 20 ‰	т	150
- 50 ‰	т	60
- 100 ‰	т	30
- 150 ‰	т	20
3. Скорость движения	км/час	до 100
4. Минимальный радиус кривых	м	20
5. Расход топлива (при уклоне затяжных подъемов до 10 ‰)	л/100 т·км	0,2...0,3
6. Себестоимость перевозок	USD/100 т·км	0,6...1,0
7. Стоимость двухпутной трассы (без инфраструктуры):		
- на равнине	тыс. USD/км	250...350
- на слабопересеченной местности	тыс. USD/км	350...450
- на сильнопересеченной местности	тыс. USD/км	450...600
- в горах	тыс. USD/км	600...800

При малых объемах перевозок (до 200 тыс. т/год) могут быть использованы облегченный подвижной состав (с нагрузкой на колесо до 1...2 т) и облегченная путевая структура, что снизит стоимость СТЮ в 1,5...2,5 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 (износ 1 мм по высоте рельса после пропуска 100 млн. тонн поезда (нагрузки)). Толщину головки рельса закладывают на весь срок службы СТЮ (50...100 лет) – например, для обеспечения объема перевозок 500 млн. тонн достаточно толщины головки в 20...25 мм.

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

Расход топлива в сравнении с автомобильными перевозками снижен в 3...5 раз, себестоимость перевозок – в 2...3 раза.

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

Апробация. Технология строительства струнной путевой структуры и опор, а также основные узлы и элементы СТЮ в 2001...2004 г.г. прошли успешную апробацию на испытательном полигоне в г.Озеры Московской области (рис. 5, 6). Основные характеристики полигона: натяжение струн – 450 тс, высота опор – до 15 м, максимальный пролет – 48 м, максимальная масса подвижной нагрузки – 12 т, относительная жесткость максимального пролета под нагрузкой – $1/1500$, материалоемкость путевой структуры – 120 кг/м, уклон трассы – 100 ‰. В зимнее время модифицированный автомобиль ЗИЛ-131, установленный на стальные колеса диаметром 700 мм, отвечающие стандартам СТЮ, уверенно идет на подъем при толщине льда 50 мм (лед намораживали специально, т.к. он не удерживается на рельсе и после первого же прохода колеса разрушается и сбрасывается им с рельса). На полигоне 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 (клиновые зажимы, которые обеспечили надежное крепление канатов – при лабораторных испытаниях канаты обрывались при усилии 24...28 тонн в произвольном месте, а не в зажиме);
- релаксация предварительно напряженных струн (релаксация каната К-7 диаметром 15,2 мм, расчетные напряжения растяжения в котором составляют 10400 кгс/см², в течение 3-х лет не зафиксирована);
- промежуточные опоры (высотой 2 м, 5 м и 8 м), анкерные опоры (высотой 1 м и 15 м), а также свайные, буро-инъекционные и плитные фундаменты этих опор;
- специальный высокопрочный бетон для балки-струны (модифицированный пластификатором и ингибитором коррозии);
- 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 грузовые трассы СТЮ с затяжными уклонами до 150...200‰; при специальном выполнении колеса и путевой структуры максимальный продольный уклон пути может быть увеличен до 1000...1200‰);
- система блокировки передних колес и рулевых тяг автомобиля от поворота;
- правильность расчетов прочности и жесткости опор, путевой структуры и струн под воздействием динамических нагрузок от подвижного состава, сезонного изменения температур, ветра, оледенения и др.

Основные конструктивные и технологические решения в СТЮ защищены 36-ю патентами на изобретения, полученными в России и за рубежом.

Таким образом, сегодня имеются все возможности для проектирования и строительства недорогих, надежных, долговечных, быстровозводимых и быстро окупаемых грузовых струнных дорог. Если Вашей компании необходимо организовать перевозки большого количества грузов на расстояние от 1 до 1000 км, то ООО «Струнный транспорт Юницкого» готов организовать работы по созданию трассы СТЮ на всех этапах работ: от проектно-изыскательских до поставки подвижного состава. К этой работе будут привлечены лучшие проектные, конструкторские, автомобилестроительные и строительные организации г. Москвы, г. Минска и г. Киева, с которыми ООО «Струнный транспорт Юницкого» активно сотрудничает с 1998 г.

© А.Э. Юницкий, 2004

Генеральный конструктор – генеральный директор

ООО «Струнный транспорт Юницкого»

тел./факс: (095) 116-15-48

e-mail: info@unitsky.ru

<http://www.unitsky.ru>



Рис. 1. Грузовой поезд СТЮ для перевозки сыпучих грузов в горных условиях



Рис. 2. Грузовой поезд СТЮ для перевозки жидких грузов



Рис. 3. Грузовой поезд СТЮ для перевозки леса

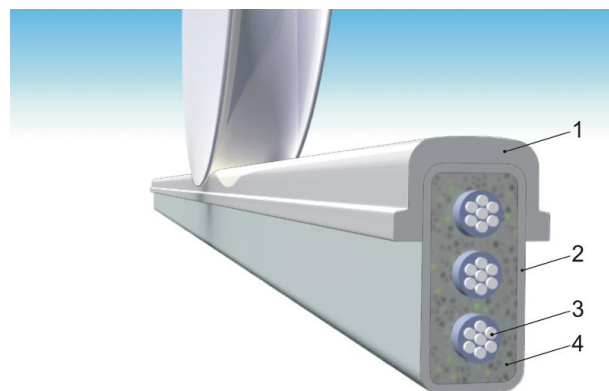


Рис. 4. Двухребордное стальное колесо на балке-струне: 1 – головка рельса; 2 – корпус; 3 – струна; 4 – бетон



Рис. 5. Модифицированный ЗИЛ-131 на струнном пролете длиной 24 м (октябрь 2001 г.)



Рис. 6. Модифицированный ЗИЛ-131 на струнном пролете длиной 48 м (ноябрь 2004 г.)