

# **Заключение о технической состоятельности проекта Струнной транспортной системы Юницкого (СТС)**

## **Объекты анализа**

Анализируется СТС в целом и ее основные элементы с точки зрения их технической состоятельности. Оценка проводится в основном в двух аспектах:

1. Соответствие принципиальных технических решений заявленным эксплуатационным характеристикам СТС.
2. Соответствие предлагаемых конструктивных решений современному уровню науки и техники, то есть, не требует ли реализация проекта принципиально новых материалов, технологий, методов расчета и т.п.

Здесь не рассматриваются вопросы целесообразности применения СТС, оптимальной сферы и масштабов такого применения.

## **Исходные данные**

Заключение составлено на основе изучения многочисленных описаний к патентам на СТС и ее конструктивные элементы, публикаций в специальных изданиях, результатов испытания действующих физических моделей и дополнительных сведений и разъяснений, представленных автором и разработчиками проекта.

Здесь не рассматривались патентоспособные технические решения, на которые еще не получены охранные документы, и которые затрагивают частные аспекты конструкции элементов СТС, не меняя ее принципа.

## **Краткое описание системы**

Предложена система для транспортирования разнообразных грузов и пассажиров в широком диапазоне скоростей (от самых малых до 600 км/час), пригодная к применению как внутри поселений, так и на магистральных перевозках, работоспособная практически на любой местности и в любых климатических условиях. Заявленные эксплуатационные характеристики превосходят все известные виды массового транспорта. По предполагаемым удельным капитальным вложениям и эксплуатационным издержкам СТС близка к самому дешевому из сравнимых видов транспорта – канатной дороге, значительно превосходя ее по другим показателям.

Основу СТС составляет одно- или многопутная трасса для движения грузовых или пассажирских колесных экипажей (транспортных модулей). Однопутная трасса состоит из двух рельсов-струн, особая конструкция которых играет главную роль в обеспечении заявленных характеристик системы. Все другие составляющие более близки к традиционным решениям или представляют собой их новые комбинации.

Далее рассматриваются и оцениваются отдельные элементы СТС.

## **Рельс-струна**

Представляет собой пустотелый рельс с расположенным внутри его напряженным (растянутым) элементом. Рельс-струна (далее - рельс) поддерживается разнесенными на значительные расстояния (до 100 и более метров) опорами и сочетает в себе свойства гибкой нити, натянутой с провесом в большом пролете, и жесткой балки на участке контакта головки рельса с колесами транспортного модуля. Это уникальное сочетание свойств обеспечивается таким соотношением усилия растяжения напряженного элемента, жесткости рельса, собственной массы всего рельса и внешних нагрузок, при котором провес этого элемента вписывается в вертикальный габарит (при принятых условиях около 200 мм) пустотелого корпуса рельса. Передача полезной нагрузки от головки рельса на напряженный элемент обеспечивается заполнением полости корпуса самотвердеющим составом, либо другими способами, не изменяющими принципа работы устройства.

В качестве напряженного элемента может применяться один или несколько стальных канатов, набор стальных проволок или лент, которые широко используются во многих иных конструкциях и обладают требуемыми характеристиками (основная из них – прочность до 1000 МПа и выше).

Головка рельса может быть выполнена из сталей, применяемых для обычных железнодорожных рельсов.

Выполненная из традиционных и доступных материалов конструкция отличается от всех сравнимых многократно меньшей относительной деформативностью (отношение прогиба к длине пролета). Головка рельса представляет собой почти идеально ровный путь. При пролете 50 м и массе транспортного модуля 5000 кг прогиб рельса в середине пролета составит около 10 мм (относительная деформация 1/5000). Это на порядок меньше деформативности современных мостов и, следовательно, укладываемого на них полотна обычной или высокоскоростной железной дороги (1/400).

Другое существенное отличие от традиционного рельсового пути состоит в отсутствии на всем протяжении стыков с зазорами для компенсаций температурных воздействий.

Указанные здесь значения деформативности и другие цифры, приведенные в рассмотренных материалах для других величин пролетов и нагрузок, определяются классическими методами расчета, что обеспечивает их достоверность. Также достоверно, что отсутствие компенсационных стыков не приведет к существенным деформациям рельса. Наличие напряженного элемента, натянутого с провесом внутри рельса, позволяет провести полную аналогию с поведением многокилометровых проводов телеграфных линий и т.п. Проведенные по общепринятым методикам расчеты показывают, что при максимальном для реальных условий перепаде температур в 100°C не возникает ни потери устойчивости, ни чрезмерного перенапряжения элементов рельса, а происходящие при этом деформации не вызывают значимых изменений прогиба рельса.

Реальность существенных преимуществ струнной трассы в части жесткости и отсутствия зазоров в стыках головки рельса позволяет утверждать, что заявленные скоростные характеристики системы также реальны. При эксплуатации высокоскоростных железнодорожных путей, уступающих СТС по этим параметрам, достигается скорость 400 км/час. С учетом указанных преимуществ и того обстоятельства, что неподрессоренная масса ходовой части транспортного модуля многократно меньше, чем у высокоскоростного поезда, достижение в перспективе скорости 600 км/час на СТС представляется вполне реальным, а эксплуатация ее при скоростях до 400 км/час при высоком уровне комфорта для пассажиров не ставит принципиальных проблем при современном уровне техники.

Для проектирования рельсов реальной трассы достаточны известные и проверенные методы расчета. Однако целый ряд необходимых для таких расчетов параметров, связанных с динамическими процессами (колебания рельсов от подвижной нагрузки в различных режимах, от ветровой нагрузки на транспортный модуль и путевую структуру, динамика контакта колесо-рельс и т.п.) с достаточной точностью могут быть определены только опытным путем. Для постановки опытов, очевидно, потребуются, как минимум два стенда. Один для определения динамических параметров контакта рельс-колесо на различных режимах, на котором реальные колеса транспортного модуля могут взаимодействовать с устройствами, имитирующими рельсы. Второй стенд должен быть максимально приближен к участку реальной путевой структуры в натуральную величину. Учитывая, что требуется получить данные о поведении структуры на пролетах, близких к пролетам реальной трассы, а также на особых участках (например, стрелочные переводы), стенд должен иметь длину не менее 100 м и обеспечивать регистрацию динамических параметров при взаимодействии с подвижной нагрузкой в виде устройства, максимально приближенного к конструкции реального транспортного модуля.

## **Опоры и линейные участки трассы в целом**

На трассе предусматривается три вида опор – два вида анкерных (концевые и промежуточные) и поддерживающие. В режиме нормальной эксплуатации наибольшие нагрузки испытывают концевые анкерные опоры, воспринимающие усилия натяжения напряженных элементов рельсов. На промежуточных опорах эти усилия практически полностью уравниваются на построенной трассе, а при ее монтаже могут быть компенсированы простыми временными устройствами. Поэтому при эксплуатации промежуточные анкерные опоры, как и поддерживающие, испытывают преимущественно вертикальную нагрузку (нормальную порядка 20 тонн и аварийную около 250 тонн). Номинальная горизонтальная нагрузка для концевых опор составляет при однопутной трассе около 500 тонн.

Минимальная высота опор принята 5м для обеспечения заявленного преимущества – минимального изъятия земель из хозяйственного оборота. С учетом географических условий (рельеф местности, высота снежного покрова, наличие лесных массивов и т.п.) оптимальная высота опор определена на уровне 20....30м.

На особых участках, таких как водные преграды, горные хребты и т.п., высота опор может быть существенно больше, а расстояние между ними достигать несколько сот метров. В последнем случае пролетное строение должно поддерживаться дополнительными устройствами, выполняемыми по аналогии с традиционными схемами подвесных мостов.

Нагрузки подавляющего большинства опор на трассе таковы, что не предъявляют к их конструкциям и материалам каких-либо особых требований. Они могут быть выполнены из традиционного для такого типа сооружений железобетона или металла. Повышенные нагрузки для концевых опор и для промежуточных на особых участках также не ставят принципиальных проблем, так как расчет и сооружение гораздо более нагруженных опор традиционных мостов давно освоены в строительной практике. Это же относится к конструктивным решениям оснований опор, которые могут быть устроены на практически любом грунте.

Требуемая точность трассы на ее искривленных участках вполне может быть обеспечена известными способами, например боковыми оттяжками. Кроме того разработчиками предлагаются оригинальные патентоспособные решения этой задачи.

Частотные характеристики всех элементов трассы и подвижного состава, необходимые для проектировочных расчетов на предмет исключения резонансных явлений, могут быть определены опытным путем на стендах, упомянутых в предыдущем разделе.

Таким образом, строительство трассы обеспечивается традиционными и доступными материалами, ее проектирование – известными и многократно проверенными методами расчета, а несущая способность опор обеспечивает заявленные эксплуатационные характеристики. В связи с этим заявленные стоимостные параметры трассы представляются достоверными.

## **Транспортные модули**

Предлагаемые транспортные модули рассчитаны для перевозки любых грузов массой до 5т на высоких скоростях, до 20т на скоростях ниже 100 км/час, а также предполагаются специальные многоколесные платформы для грузов массой до 40т. За рамки традиционных представлений выходят лишь высокоскоростные модули, и ниже анализируются только они.

По своей конструкции модуль ближе всего к автомобилю, но, в отличие от него, снабжен жесткими колесами. Контакт жесткого колеса с жестким рельсом обеспечивает минимальное сопротивление качению, а высокий уровень комфорта для пассажиров достигается отмеченными выше качествами пути и специальной системой подвески колес. Предлагаются несколько вариантов конструктивного исполнения подвески, реализация которых не ставит технических проблем. В отличие от железнодорожного подвижного состава, колеса модулей имеют по две реборды. Это, в сочетании со свойствами подвески, обеспечивает высокую безопасность движения (практически исключается сход модуля с рельсов), а на редких участках трассы с большими уклонами – необходимое для повышенной тяги сцепление

приводных колес с рельсами (используется эффект расклинивания по аналогии с взаимодействием ремня со шкивом клиноременной передачи).

На горизонтальных участках и на уклонах, сравнимых с уклонами обычных железных дорог, потребная сила тяги определяется в основном аэродинамическим сопротивлением. Предлагаемая конструкция модуля обладает феноменально низким для транспортных средств показателем этого сопротивления. Определенное продувкой модели модуля в аэродинамической трубе значение коэффициента  $C_x$  составляет 0,075. Помимо оптимальной формы корпуса, это объясняется отсутствием выступающих частей, за исключением малой части узких колес. На корпусе также нет целого ряда традиционных для автомобиля элементов, повышающих сопротивление, что стало возможным благодаря автоматическому управлению модулем.

При достоверном знании аэродинамического сопротивления все составляющие силы тяги определяются простым расчетом. Поэтому заявленные энергетические характеристики подвижного состава представляются достоверными.

Глубина проработки вариантов силовых агрегатов позволяет утверждать, что для высокоскоростного модуля могут быть применены самые различные технические решения привода тяги – от электродвигателей, приводящих по различным схемам колеса, до воздушного тягового винта. Электропривод может иметь как автономное, так и внешнее питание, причем во втором случае не потребуется специальной контактной сети, так как токопроводами могут служить сами рельсы, электрически изолированные друг от друга и от опор. Вполне реально применение на модулях двигателей внутреннего сгорания или газовых турбин.

Все эти варианты имеют свои преимущества и недостатки, например большую или меньшую сложность автоматизации управления. Но все они реальны и не требуют для своей реализации уникальных устройств или материалов. Для конкретных внешних условий выбор наиболее приемлемого решения может быть сделан по известным методикам оптимизации. Сомнение в целесообразности применения в настоящее время вызывает лишь автономный электропривод. Массогабаритные характеристики современных электрических аккумуляторов потребной емкости таковы, что в большинстве случаев они сделают неприемлемо большой собственную массу модуля. Однако в будущем этот вариант привода может оказаться самым оптимальным, так как по целому ряду иных параметров имеет серьезные преимущества перед остальными.

Достоверность энергетических характеристик предопределяет реальность расчетных скоростей движения, а, следовательно, и заявленной провозной способности СТС, поскольку при известной скорости и частоте движения модулей техническая производительность вычисляется простейшим расчетом без какой-либо неопределенности. Это относится и к расчетным затратам на потребляемую энергию.

### **Технология строительства СТС**

Представленные материалы свидетельствуют, что при применении только традиционных технологических приемов, монтажного оборудования и механизмов, технология окажется значительно проще и дешевле, чем на строительстве обычных мостов со сравнимыми величинами пролетов. Практически все операции монтажа системы могут быть полностью механизированы, что позволяет реализовать поточный метод строительства с высокой скоростью (порядка 1000 м в сутки).

Кроме того, разработчиками показана возможность использования для монтажа трассы специального комбайна, который обеспечит автоматизацию выполнения большинства операций и учета контрольных параметров монтажа.

Таким образом, строительство СТС не ставит принципиальных технологических проблем, во всяком случае, при ее устройстве на суше. Разработчиками предлагаются принципиальные схемы устройства трасс, прокладываемых по дну моря или в толще воды. Для таких случаев, естественно, потребуются нетрадиционные технологии. Но и здесь технологические проблемы не будут сложнее тех, какие были решены, например, во Франции еще на

рубеже XIX и XX веков при сооружении подводного перехода через Сену на линии парижского метрополитена.

### **Прочие элементы и аспекты СТС**

Представленные материалы показывают, что к настоящему времени достаточно глубоко проработаны принципиальные решения не только основных элементов системы, но практически всех ее составляющих, от станционных комплексов и конструкции стрелочных переводов разного назначения, до отдельных узлов и деталей, например, анкерных устройств. Многие из этих решений оригинальны, что подтверждается уже полученными охранными документами. Но все они выполнены с соблюдением основного принципа – применения только доступных материалов и конструктивных схем, поддающихся известным и проверенным методам расчета. Именно этим обеспечивается высокая степень достоверности представленных детальных стоимостных расчетов.

Ни один узел или элемент системы не будет при эксплуатации находиться в более неблагоприятных условиях, чем близкие аналоги традиционных устройств и сооружений. Ряд элементов будет работать в более выгодных условиях, например, напряженные элементы рельсов-струн защищены от коррозии и иных внешних воздействий лучше, чем сходные с ними элементы висячих мостов. Следовательно, надежность и долговечность СТС, будет, во всяком случае, не ниже, чем у подобных проверенных временем сооружений.

### **Выводы**

**1. Техническая состоятельность проекта Струнной транспортной системы Юницкого не вызывает сомнений. Все элементы и система в целом могут быть реализованы с применением достоверных методов расчета, доступных материалов и проверенных практикой технологий. Заявленные эксплуатационные характеристики системы реально достижимы при расчетных затратах.**

**2. Для выявления и учета ряда динамических характеристик в расчетах при проектировании реальной СТС необходимо проведение опытов, для которых потребуются, как минимум два стенда – один для опытов на уровне контакта колес с рельсами и другой для опытов по взаимодействию участка путевой структуры длиной не менее 100м с устройством, максимально приближенным к конструкции транспортного модуля.**

19.01.01



**Д.П.Добжинский**

Заместитель начальника Управления механизированных технологий, оборудования и лизинга Госстроя России, кандидат технических наук.