



115487, Москва, ул. Нагатинская, 18/29
тел./факс: (495) 680-52-53, 116-15-48
e-mail: info@unitsky.ru
http: //www.unitsky.ru
skype: Anatoly Unitsky

ПРОЕКТНОЕ ПРЕДЛОЖЕНИЕ

по созданию транспортной системы «второго уровня»
на основе технологий
«Однорельсовый струнный транспорт Юницкого — моноСТЮ»
по маршруту
«Миракс Федерация — Миракс Плаза»

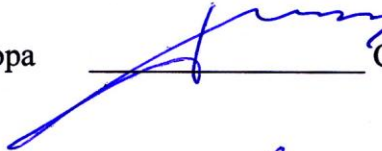


Список основных исполнителей ООО «СТЮ»


Ответственный исполнитель,
генеральный директор — генеральный
конструктор


_____ А.Э. Юницкий

Первый заместитель генерального директора


_____ С.А. Фомин


Исполнительный директор


_____ Д.А. Юницкий

Заместитель генерального конструктора по
подвижному составу, главный дизайнер


_____ В. С. Жаркевич


Заместитель генерального директора по
капитальному строительству


_____ А.А. Брынзынюк

Главный инженер


_____ А. В. Пархоменко

Начальник конструкторского бюро «Юнибус»


_____ В. В. Даньщиков

Содержание

Пояснительная записка	4
1. Схемы трассировки.....	6
2. Описание технологий СТЮ	12
3. Предварительные технические и экономические показатели.....	26
4. Предварительная стоимость реализации Проекта.....	28
5. План-график	29

Пояснительная записка

Настоящее проектное предложение рассматривает создание скоростной двухпутной однорельсовой струнной транспортной системы (моноСТЮ) с кольцевым движением подвесных самоходных транспортных модулей (моно-юнибусов). В предложении рассмотрены варианты трассировки на разных высотах, в однопролетном и многопролетном исполнениях, по прямому маршруту и маршруту с одним поворотом (см. главу 1).

Принципиальное отличие предлагаемой транспортной системы заключается в том, что предлагается создание высотной транспортной системы нового технологического уровня, значительно превышающего обычные канатные дороги по скоростным, пропускным и прочим эксплуатационным показателям (см. главу 2).

Преимущества моноСТЮ достигаются за счет технологических превосходств при сравнительно невысоких начальных капитальных вложениях и при эксплуатационных издержках на порядок ниже обычных (см. главу 3). По пользовательским показателям предлагаемая транспортная система соответствует понятию «горизонтальный лифт» с достижением любых уровней требуемой комфортности в условиях более высокой безопасности. Автоматическая система управления предлагает пользователям транспортных услуг две привычные кнопки: кнопка «Вызов» на станции и кнопка «Ход» в кабине моно-юнибуса (при количестве станций более 2-х вводятся дополнительные кнопки с названием станций).

Проектным предложением предусматривается выполнение следующих работ:

- получение исходно-разрешительной документации;
- проектирование транспортной системы и станций;
- проведение согласовательных работ;
- строительство двухпутной однопролетной или многопролетной путевой структуры с промежуточными опорами;
- строительство двух оконечных станций (несущие и ограждающие конструкции станций, конструкции подходов к станциям не входят в состав проектного предложения);
- строительство сервисного бокса;
- поставка сервисного тягача;
- создание четырехуровневой системы контроля и управления подвижным составом;
- создание систем противоаварийного, противопожарного и охранного предупреждения;
- создание системы автоматического пожаротушения подвижного состава и станций;
- создание системы контроля и управления (в т. ч. взимания оплаты) пассажирскими потоками;
- поставка подвижного состава для обеспечения максимальной провозной способности транспортной системы до 5000 пассажиров в час в обе стороны;



- поставка стандартизированного оборудования;
- проектирование, изготовление и поставка нестандартизированного оборудования (стрелочные переводы, поворотный круг, зарядные станции и др.);
- монтаж оборудования;
- проведение пуско-наладочных работ;
- проведение приемо-сдаточных работ;
- разработка правил и положений по эксплуатации транспортной системы;
- обучение квалифицированного эксплуатационного персонала;
- предоставление полного комплекса услуг по эксплуатации транспортной системы.

Перечень субподрядчиков и поставщиков ООО «СТЮ»:

- НПП «МОНОРАКУРС» (Белоруссия) — выполнение расчетных работ по путевой структуре;
- ООО «ЭТОН» (Белоруссия) — проектирование системы управления мотор-колесами;
- Верхнесалдинское металлургическое производственное объединение (Россия) — изготовление легкосплавных корпусов рельс-струн;
- Всероссийский институт легких сплавов, Россия — технологическое обеспечение высококачественной сварки легкосплавных конструкций;
- ЗАО «СеверСталь-Метиз» (Россия) — поставка высокопрочной арматурной проволоки для рельсов-струн;
- Magnet-Motor GmbH (Германия) — поставка электрических мотор-колес;
- ОАО «ЭСМА» (Россия) — поставка молекулярных электронакопителей;
- HUBNER GmbH (Германия) — поставка раздвижных дверей для моно-юнибусов;
- BONATRANS, a.s. (Чехия) — поставка колес для моно-юнибусов со встроенным в колесо демпфером.



1. Схемы трассировки

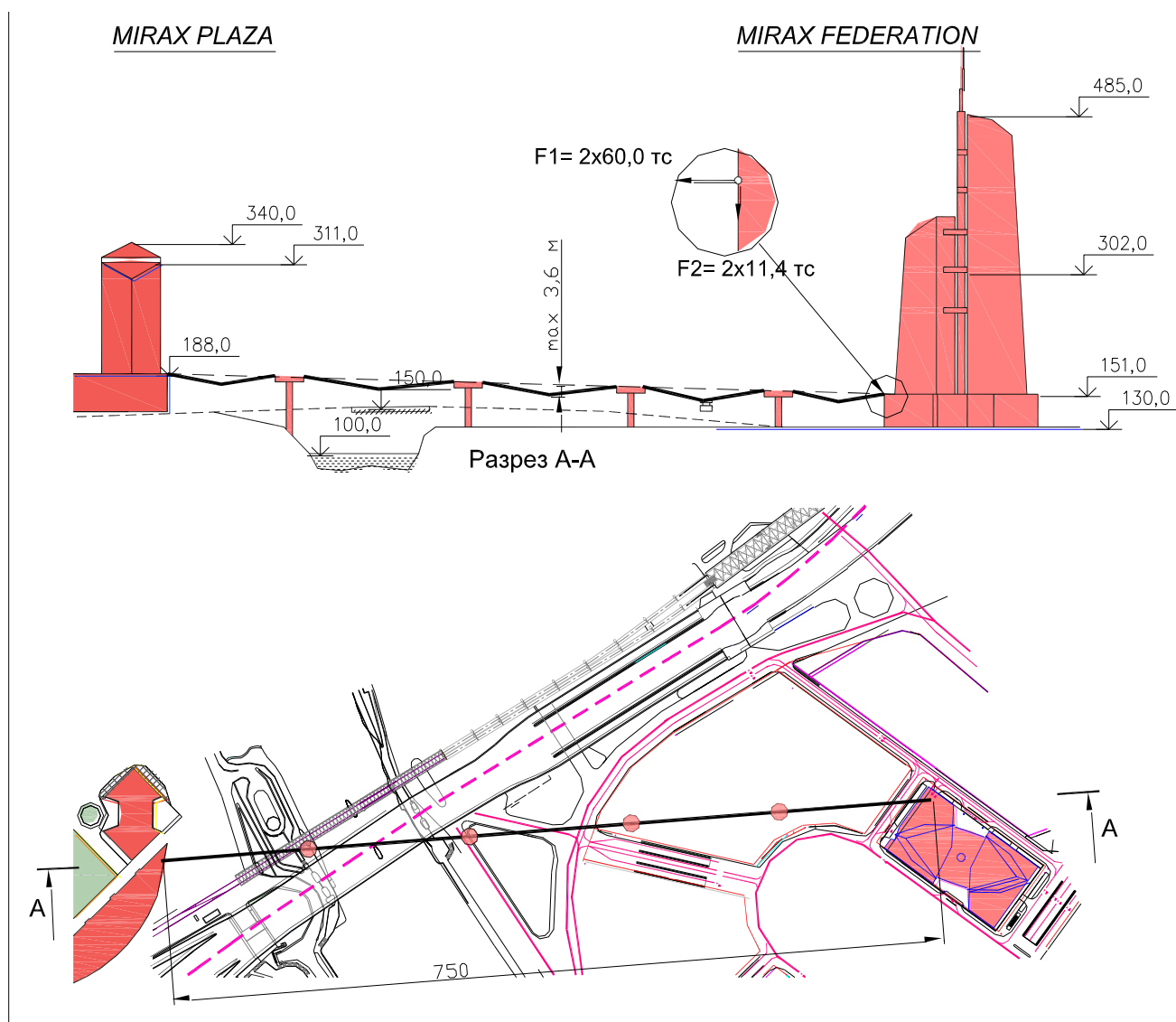


Рис. 1. Вариант 1а. Трасса моноСТЮ с малой высотой опор (до 25 м) и прямым маршрутом

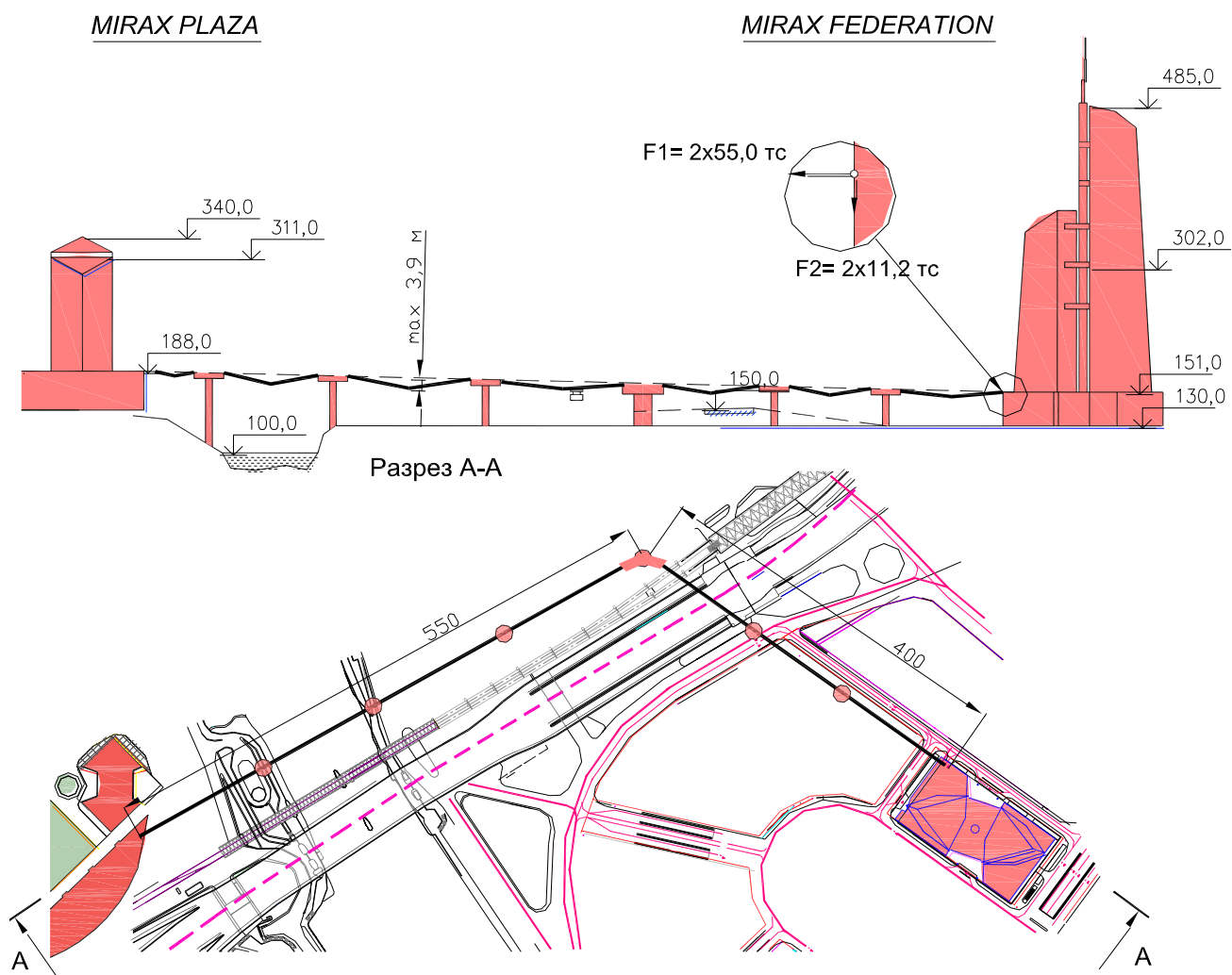


Рис. 2. Вариант 1б. Трасса моноСТЮ с малой высотой опор (до 25 м) и одним поворотом

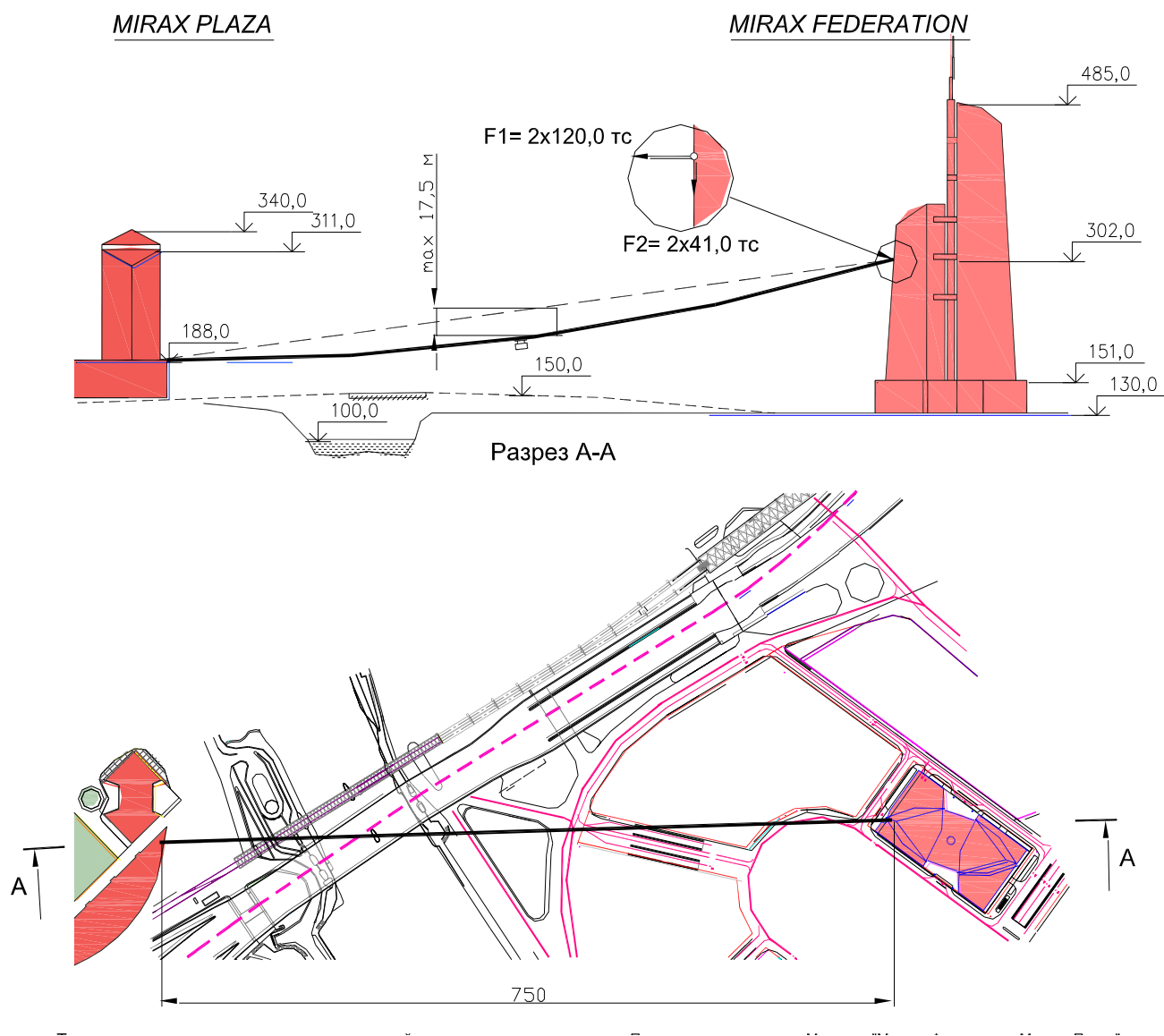


Рис. 3. Вариант 2а. Однопролетная высотная трасса моноСТЮ с большим наклоном путевой структуры

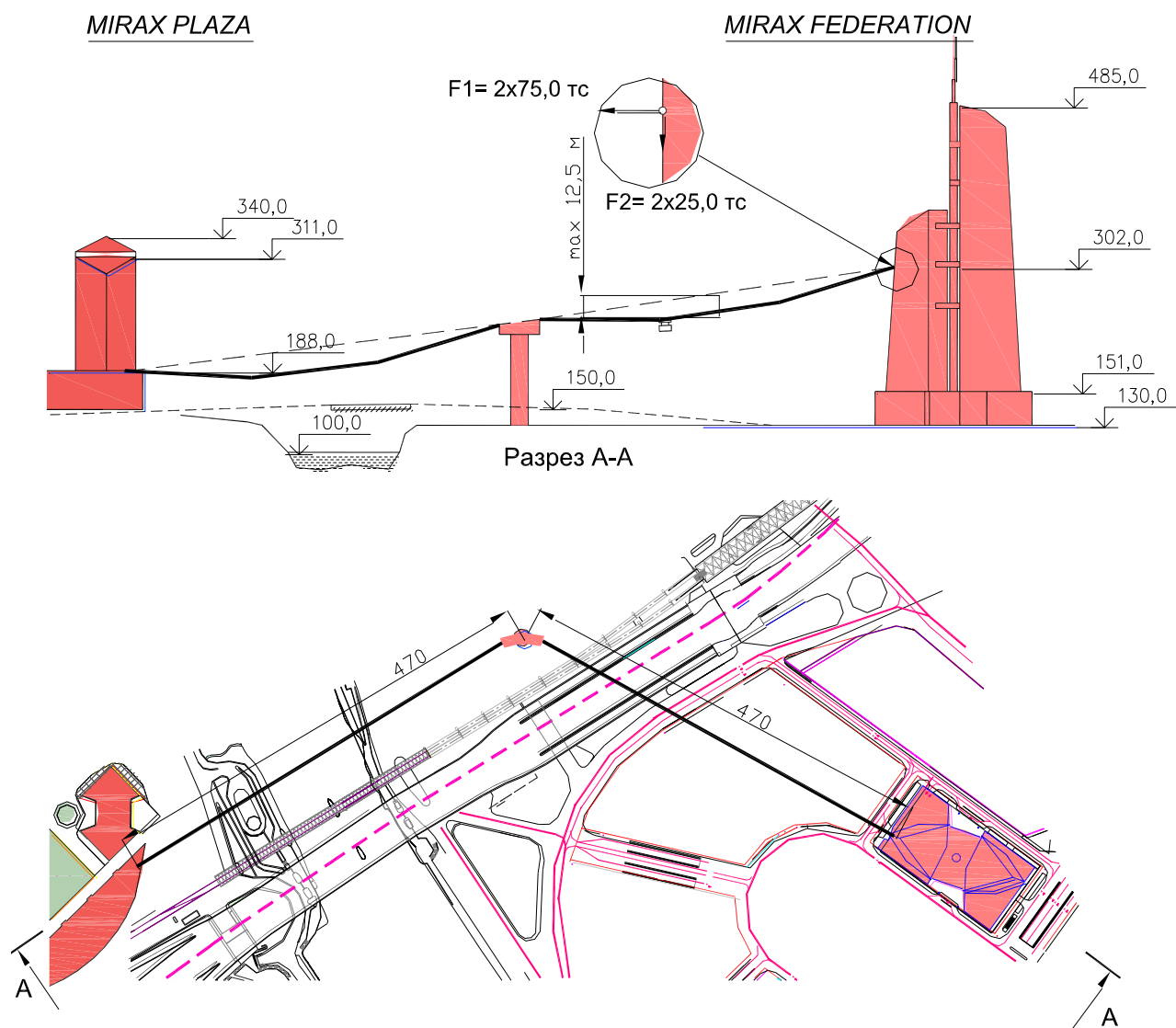


Рис. 4. Вариант 2б. Двухпрлетная высотная трасса моноСТЮ с большим наклоном путевой структуры и одним поворотом

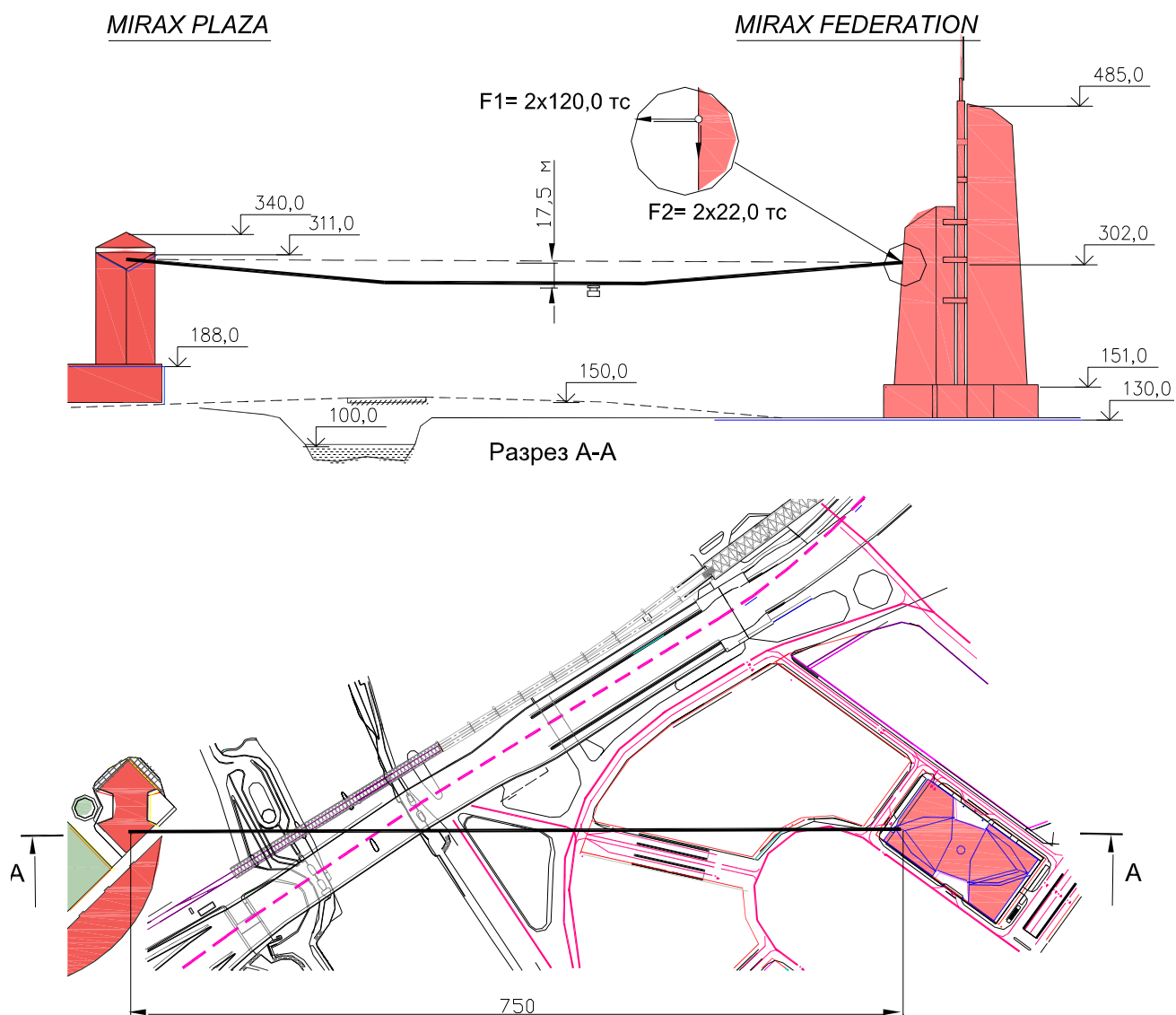


Рис. 5. Вариант 3а. Однопролетная высотная трасса моноСТЮ с малым наклоном путевой структуры

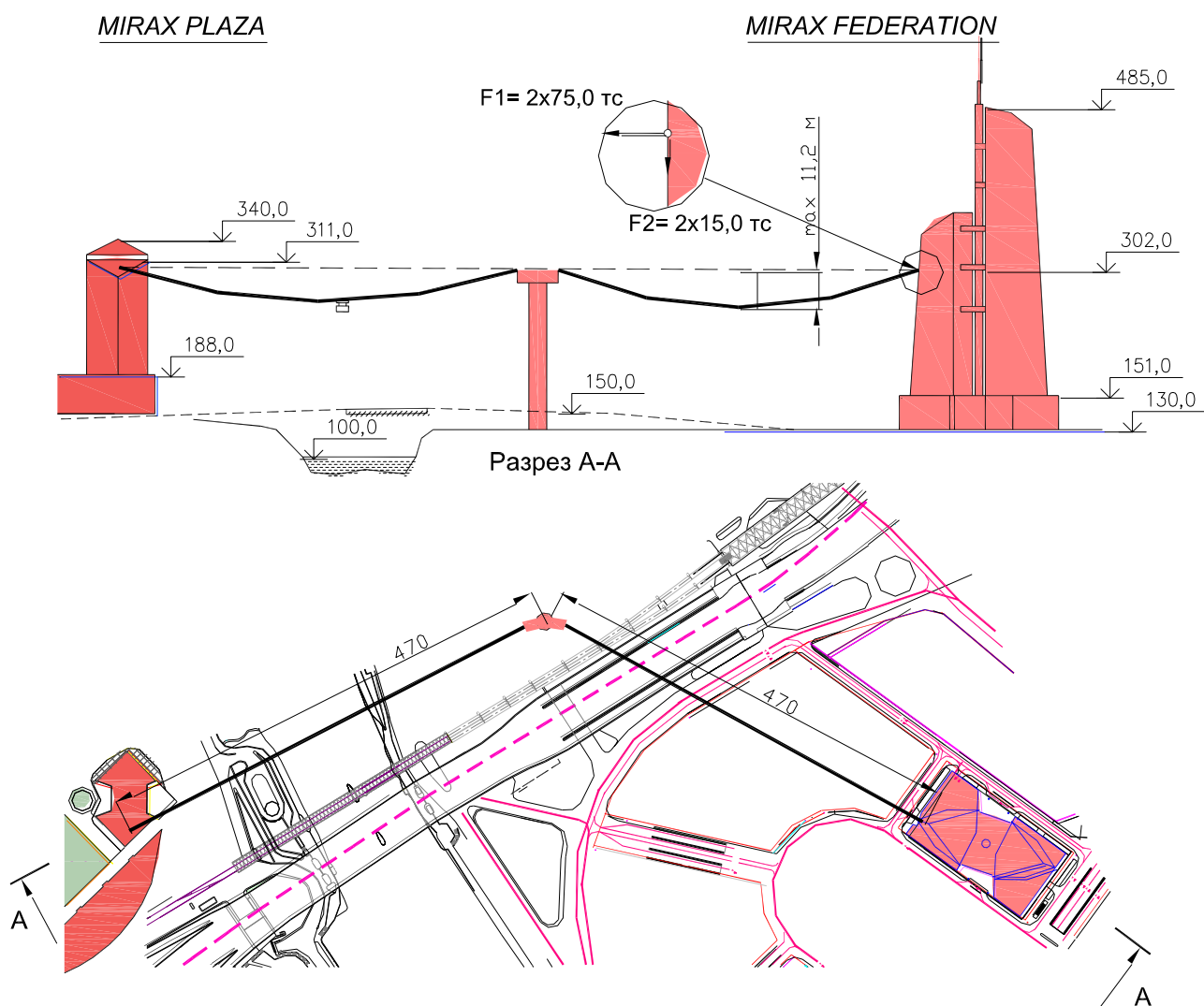


Рис. 6. Вариант 3б. Двухпролетная высотная трасса моноСТЮ с малым наклоном путевой структуры и одним поворотом

2. Описание технологий СТЮ

Городской общественный транспорт, проходящий по улицам города (автобусный, троллейбусный, трамвайный и др.) в процессе развития городской инфраструктуры неизбежно приводит, в совокупности с легковым автотранспортом, к появлению «пробок» на улицах, доминирующему загрязнению воздуха продуктами горения топлива и износа дорожного покрытия и резиновых шин, интенсивному шуму, который по вредному воздействию на человека выходит на первое место, и другим ухудшениям городской экологии и условий проживания городского жителя. Поэтому во многих городах мира все большее применение находят транспортные системы «второго уровня»: монорельс, поезда на магнитном подвесе, канатные дороги. Однако эти системы в условиях городской застройки чрезвычайно дороги, имеют высокую себестоимость проезда и нерентабельны.

К принципиально новому типу транспортных систем «второго уровня» относится струнный транспорт Юницкого (СТЮ), который представляет собой предварительно напряженную рельсо-струнную конструкцию, по которой осуществляют движение специальные многоколесные пассажирские или грузовые рельсовые автомобили, поставленные на металлические колеса.

Разработаны различные типы СТЮ, но к использованию в г. Москве наиболее целесообразен однорельсовый вариант — моноСТЮ с подвесным пассажирским рельсовым автомобилем — моно-юнибусом (рис. 7, 8). МоноСТЮ позволяет прокладывать трассы с большими пролетами (до 2 км и более), имеет высокую скорость движения (порядка 100 км/час), но, в то же время, является относительно недорогой высокорентабельной системой с невысокими эксплуатационными издержками и низкой себестоимостью проезда.

МоноСТЮ относится к разновидности внеуличного городского пассажирского электрического рельсового транспорта с неэлектрифицированной транспортной линией, движение моно-юнибусов по которой осуществляется за счет бортовых электрических накопителей энергии, заряжаемых на станциях.

При создании моноСТЮ были использованы лучшие стороны всех существующих видов транспорта. Например, металлическое колесо и рельс, несколько видоизменившись в лучшую сторону, перенесли из железнодорожного транспорта низкое сопротивление качению колес подвижного состава и высокую безопасность движения; наработки в аэродинамике современных самолётов и гидродинамике подводных лодок помогли разработать высокоскоростные рельсовые автомобили с наименьшим среди всех известных транспортных средств аэродинамическим сопротивлением; принцип расположения трасс на «втором» уровне (над поверхностью земли) и использование высокопрочных струн были взяты из конструкций канатной дороги и предварительно напряжённых железобетонных конструкций, подвесных и вантовых мостов.

Конструкция струнной путевой структуры моноСТЮ является разновидностью висячих и вантовых мостов с «провисающей» предварительно напряженной вантой, зашитой в балку жесткости, которая одновременно является рельсовым ездовым полотном для колесных транспортных модулей (подвижного состава) на металлических колесах.

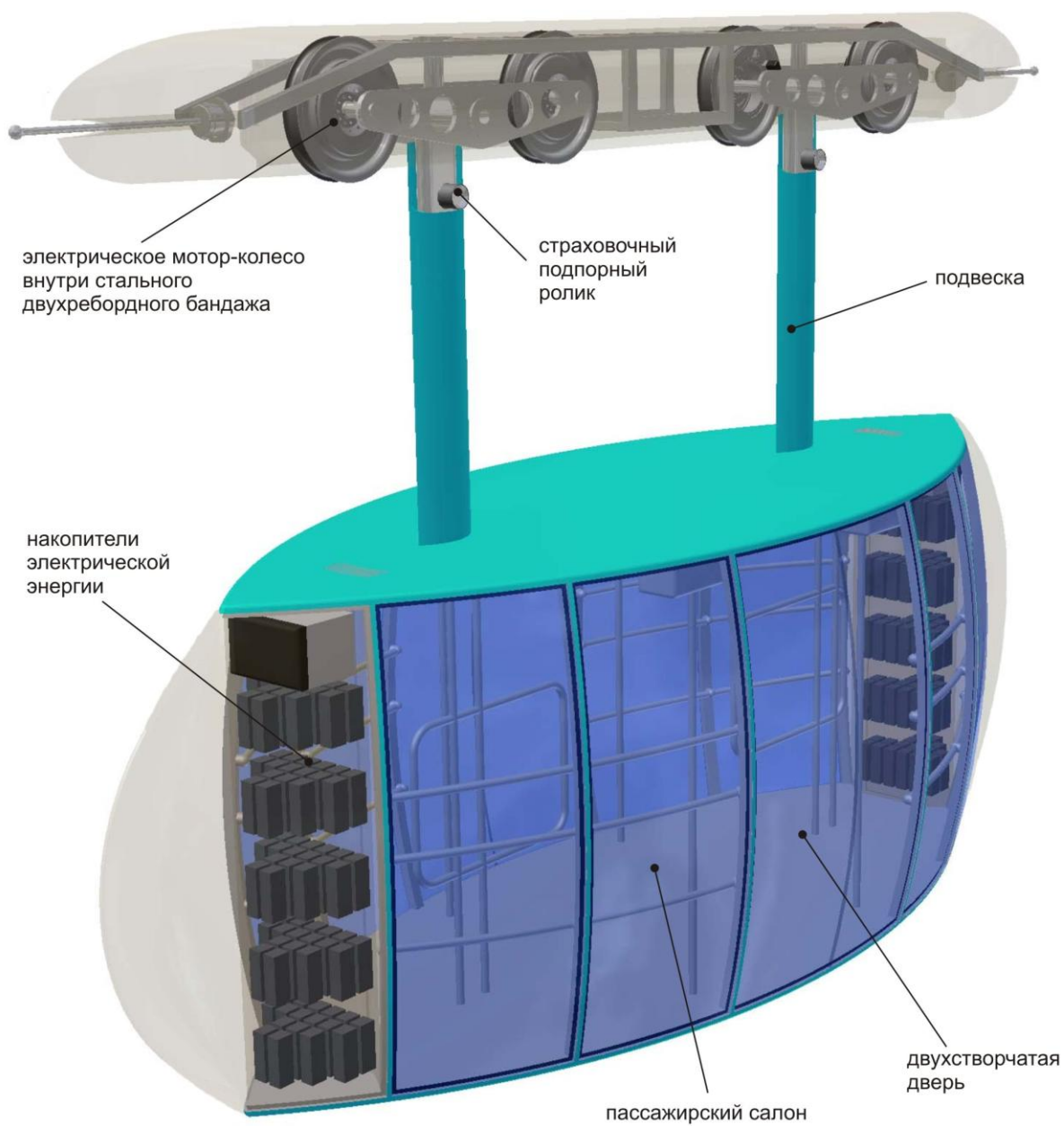
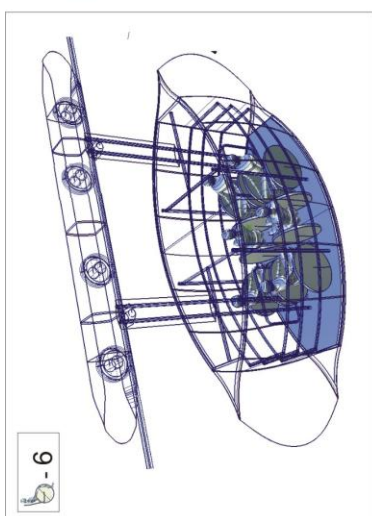
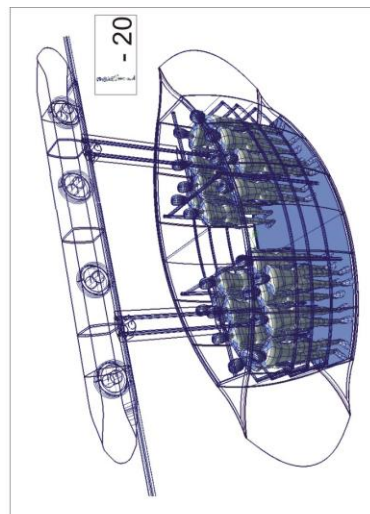
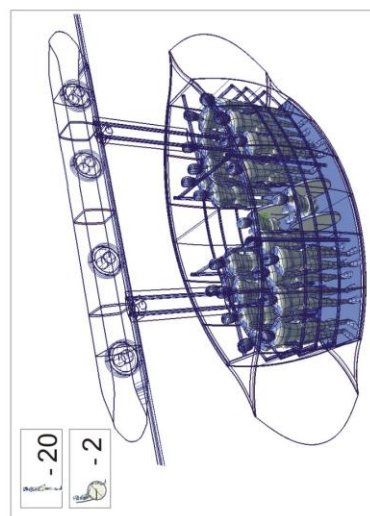
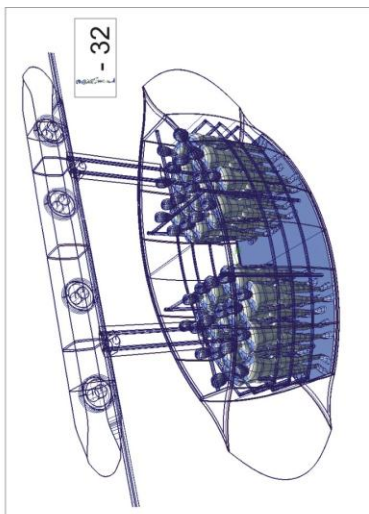
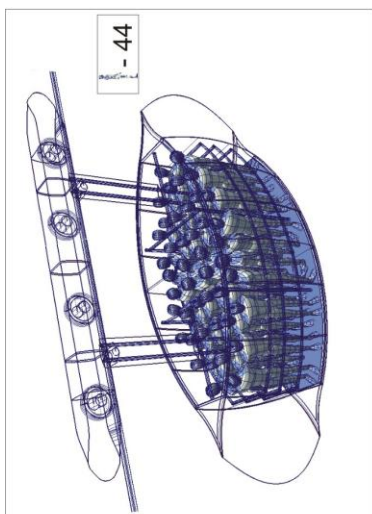
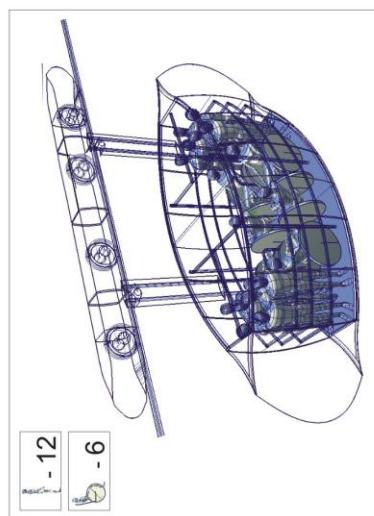
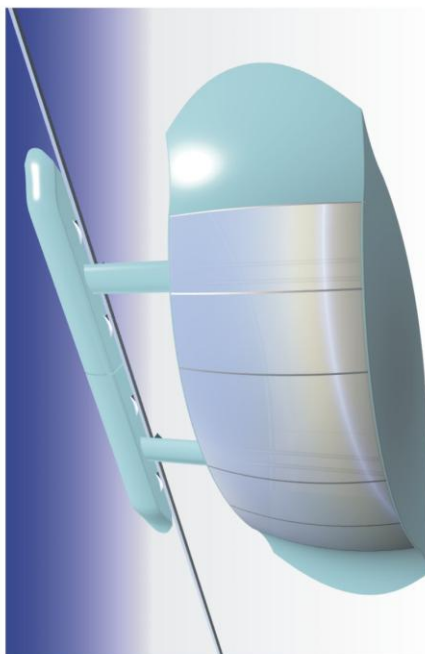


Рис. 7. Конструкция скоростного (130 км/час) моно-юнибуса вместимостью 40 пассажиров



МОНО-ЮНИБУС Ю-422 П

Варианты заполнения пассажирами
Городской вариант



— КОЛИЧЕСТВО СТОЯЧИХ МЕСТ
— КОЛИЧЕСТВО МЕСТ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ

Рис. 8. Моно-юнибус Ю-422П

Путевая структура моноСТЮ включает в свою конструкцию те же основные элементы, что и висячие мосты: размещенный с провисом на пролете предварительно напряженный растянутый элемент — витой или невитой канат (струна), балка жесткости (головка рельса с корпусом), подвески (специальный наполнитель внутри корпуса), пилоны (при необходимости промежуточные поддерживающие опоры) и анкерные устройства (анкерные опоры).

Обладая всеми основными преимуществами висячих мостов, струнная путевая структура СТЮ полностью лишена их недостатков благодаря тому, что предварительно напряженный элемент (струна) «защит» в компактную балку жесткости, образуя с ней основной конструктивный элемент путевой структуры — прочный, жесткий и ровный рельс-струну. При этом рельс-струна моноСТЮ практически не обладает парусностью, т.к. его поперечные размеры будут на два порядка ниже, чем у висячих мостов (около 6×6 см), что позволяет перекрывать большие пролеты (2 км и более) без специальных мер по обеспечению аэродинамической устойчивости.

Высокую устойчивость рельсового пути моноСТЮ под действием вертикальных (собственный вес, вес подвижного состава, льда или снега на головке рельса и др.) и горизонтальных нагрузок (ветровая нагрузка) обеспечивает и то, что путь в нем является однорельсовым с подвесным рельсовым автомобилем, который изначально, как и канатные дороги, не может потерять поперечную устойчивость.

Максимальное натяжение струн на один рельс в моноСТЮ, в зависимости от длины пролета и массы подвижного состава, — 100—250 тонн (при температуре +20 °С).

Рельс-струна сочетает в себе свойства гибкой нити (на большом пролете между опорами) и жесткой балки (на малом пролете — под колесом рельсового автомобиля и над опорой), поэтому при воздействии сосредоточенной нагрузки от колеса вертикальный радиус кривизны (изгиба) рельса составляет 70—100 м и более. Благодаря этому качение колеса рельсового автомобиля будет плавным, безударным, как в середине пролета, так и над опорой.

Рельс-струна характеризуется высокой прочностью, жесткостью, ровностью, технологичностью изготовления и монтажа, низкой материалоемкостью (сталь: 15—25 кг/м), широким диапазоном рабочих температур (от +70 до -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 плетть).

Оптимизированная конструкция рельса-струны моноСТЮ для пролетов 2000 м, показана на рис. 9 в масштабе 1:1.

Струна 2 (рис. 9) состоит из отдельных предварительно натянутых высокопрочных (прочность на разрыв 18000—20000 кгс/см²) стальных проволок диаметром 3 мм, размещенных параллельно друг другу вдоль рельса.

Проволоки в струне омоноличены полимерным связующим на основе эпоксидной смолы, что повысит ее долговечность и коррозионную устойчивость, а в случае обрыва отдельных проволок (например, из-за дефектов изготовления) позволит им сократиться по длине без существенного нарушения напряженно-деформированного состояния остальных напряженных элементов рельса. Благодаря такой особенности и тому, что напряжения в размещенной с относительно небольшим провисом струне (меньше, чем в висячих мостах) практически

одинаковы при наличии или отсутствии подвижной нагрузки на пролете (напряжения в струне при воздействии расчетной подвижной нагрузки увеличиваются лишь на 3—5%), струна может быть предварительно натянута до значений, близких к пределу прочности материала.

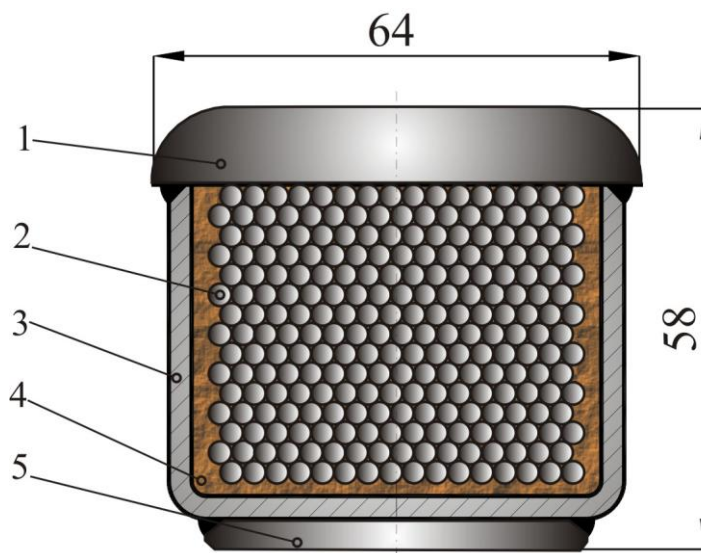


Рис. 9. Поперечный разрез рельса-струны моноСТЮ для пролета 2000 м (масштаб 1:1):
1 — головка рельса; 2 — струна (240 высокопрочных проволок диаметром 3 мм каждая);
3 — стальной корпус; 4 — композит (на основе эпоксидной смолы);
5 — подложка корпуса (служит опорой для страховочного ролика).

Основные характеристики рельса-струны: расход стали — 22,4 кг/м; общая масса — 23,2 кг/м; суммарное предварительное натяжение струн, корпуса и головки рельса — 205,9 тс (при +20 °С).

Описанная особенность моноСТЮ позволит исключить температурные деформационные швы по длине путевой структуры (так же, как их нет, например, в телефонных линиях связи или линиях электропередач). Однако это приведет к сезонному изменению напряжений в ее растянутых элементах (относительно температуры 0 °С) — к увеличению их зимой (на 400—600 кгс/см² при –50 °С) и снижению летом (на 400—600 кгс/см² при +50 °С). Поэтому максимальные значения прогиба рельса-струны на пролете в течение года из-за температурных изменений усилий натяжений будут колебаться в пределах 6—10% от первоначального значения (от –3...–5% до +3...+5% от проектного положения). Это не отразится существенно на функционировании моноСТЮ (на ровности головки рельса в вертикальной плоскости), т.к. дополнительный подъем (зимой) и провис (летом) путевой структуры составят величину порядка 1/500—1/800 от длины пролета (2—3 м при длине пролета 1200—1600 м)*.

Долговечность любой конструкции при циклическом воздействии нагрузок определяется максимальным размахом напряжений, возникающим в каждом цикле. Для висячих и вантовых мостов он должен быть не более 160 МПа, что обеспечивает

* Более подробная информация о струнной путевой структуре представлена, например, в отчете по II этапу муниципального контракта № СТЮ-02/06 «Разработка технических условий на струнную путевую структуру для условий города Ставрополя», 2006 г., 117 стр.

требуемую долговечность мостовых сооружений (50—100 лет) из условий усталостного разрушения конструкции.

В струне путевой структуры моноСТЮ максимальный размах напряжений в штатном режиме эксплуатации (движение модуля массой 5т) составляет 75,5 МПа, что ниже допустимых значений более чем в 2 раза и, соответственно, обеспечит срок службы струны не менее 100 лет.

В корпусе рельса максимальный размах напряжений от подвижной нагрузки (без учета ветра, т.к. расчетная ветровая нагрузка, которая бывает крайне редко, несколько раз за весь срок службы системы, не влияет на усталостные явления в рельсе-струне) для штатного режима равен на нижней грани корпуса $\Delta\sigma_n = 100$ МПа. Таким образом, корпус рельса удовлетворяет требованиям к долговечности и обеспечит необходимый срок службы.

Ровность головки рельса под колесом транспортного средства зависит от натяжения в рельсе-струне (определяет деформативность пути на пролете) и изгибной жесткости стального корпуса рельса и наполнителя (определяет радиус изгиба рельса-струны под колесом модуля). Без учета жесткости рельса, поскольку проволоки струны практически не имеют изгибной жесткости, радиус кривизны (изгиба) пути под колесом был бы равен радиусу колеса, т.е. $R_{изг.} = 0,2$ м. Однако, благодаря изгибной жесткости рельса радиус его изгиба под колесом (около 100 м) увеличивается примерно на три порядка, поэтому движение подвижного состава будет плавным и безударным на всей длине пролета.

В традиционных балочных мостах жесткость пролетного строения в целом (на пролете) и жесткость балки под колесом транспортного средства обеспечиваются за счет изгибной жесткости балки. В СТЮ эти функции разделены: жесткость на пролете путевой структуры обеспечивается за счет натяжения струны в рельсе, а жесткость рельса-струны под колесом транспортного средства обеспечивается за счет изгибной жесткости корпуса рельса и его заполнителя. Это позволило примерно в 1000 раз снизить высоту рельса-струны в моноСТЮ по сравнению с балкой (на том же пролете длиной 2000 м и для этой же расчетной нагрузки высота уменьшается с 40—60 м до 5—6 см) и, соответственно, уменьшить во столько же раз материалоемкость и стоимость* путевой структуры «второго уровня», например, в сравнении с монорельсовой дорогой. При этом напряжения в корпусе рельса, несмотря на значительный пролет, не возросли, т.к. изгибающий момент в струнном пролете незначительный (примерно $0,2 \text{ т}\times\text{м}$) и концентрируется только под колесом модуля, не распространяясь на весь пролет (на расстоянии 1 м от колеса изгибающий момент практически равен нулю).

Наибольшее влияние на напряженно-деформированное состояние элементов струнной путевой структуры оказывает не повышение массы подвижной нагрузки, а напряжения, возникающие от предварительного натяжения рельса-струны на стадии монтажа. Поэтому и долговечность струнной путевой структуры будет определять не ее напряженно-деформированное состояние в штатном режиме эксплуатации, а другие внешние факторы и воздействия: защищенность струны и корпуса рельса от

* Например, построенный в Японии мост длиной 3 км с рекордным центральным пролетом около 2 км обошелся налогоплательщикам почти в 10 млрд. долл. США.



коррозии и износостойкость головки рельса под воздействием колеса моно-юнибуса. По этим параметрам будет обеспечена долговечность конструкции в 100 лет.

Контактные напряжения в моноСТЮ в паре «стальное колесо — стальная головка рельса-струны» будут в 3—3,5 раза ниже аналогичных напряжений в железнодорожных рельсах*, поэтому износ головки рельса-струны под колесом моно-юнибуса будет в несколько раз менее интенсивным, чем на традиционной железной дороге, а срок службы, соответственно, — выше. Поскольку на железных дорогах Европы износ головки рельса (по вертикали) составляет около 1 мм на 100 млн. тонн поездной нагрузки, то при пропуске за весь срок службы по моноСТЮ 3 млрд. пассажиров (или около 500 млн. тонн подвижного состава) износ головки рельса-струны составит не более 3—4 мм. При этом износ, в отличие от износа железнодорожного рельса, будет равномерным и симметричным по ширине головки, поэтому, заложив на стадии строительства увеличенную на 5—6 мм толщину головки, можно будет гарантировать 100-летнюю эксплуатацию моноСТЮ (по износу рельса).

Уменьшению износа рельса в моноСТЮ способствует и тот факт, что при штатном режиме эксплуатации в пятне контакта отсутствуют сдвиговые усилия, обусловленные силами тяги (при разгоне) и тормозными силами (при торможении), т.к. и разгон (на спуске) и торможение (на подъеме) подвижного состава в моноСТЮ осуществляются в основном только силами гравитации (по своей сути наличие большого провиса рельса-струны на пролете заменяет и двигатель и тормозную систему модуля).

Повышению долговечности головки рельса-струны будет способствовать и та особенность моноСТЮ, что его путь расположен высоко над землей, поэтому рельс не будет подвержен абразивному износу (железнодорожные рельсы, а в особенности — трамвайные, расположены непосредственно у поверхности земли, что способствует попаданию на рабочую поверхность песка, пыли, грязи и др. и повышенному ее абразивному износу).

Свободно подвешенный бесстыковой рельс-струна, представляющий собой жесткую нить или разновидность упругой рессоры (масса рельса-струны — 23,2 кг/м — ничтожно мала по сравнению с массой модуля — 5000 кг), имеющий идеально ровную головку рельса, вытянутую под действием сил тяжести в плавную (с радиусами кривизны 6—9 тыс. м) цепную линию, практически исключит появление ударных нагрузок и вероятность разрушения рельса-струны из-за контактно-усталостных дефектов**.

При расчетной боковой ветровой нагрузке (98 кгс/м^2 для модуля и 96 кгс/м^2 — рельса-струны, для чего скорость ветра должна превышать 250 км/час), путь

* Контактные напряжения в железнодорожных рельсах, возникающие при взаимодействии с колесной парой, достигают, с учетом касательных напряжений под воздействием сил тяги или торможения, значений 2300 МПа, что превышает предел текучести рельсовой стали, однако, в связи с тем, что контактная площадка зажата со всех сторон рельсовым металлом, разрушения рельса в этой зоне при однократном нагружении не происходит; при этом колесо опирается на рельс на площади около $1,5 \text{ см}^2$, имеющей форму эллипса, близкую к кругу.

** Известно, что с увеличением поперечного сечения традиционного железнодорожного рельса, т.е. с повышением его изгибной жесткости, возрастает доля выхода рельсов из строя по контактно-усталостным дефектам (рельсов Р50 — 75%, Р65 — 80%, Р75 — 94%).



моноСТЮ будет иметь двойную кривизну: около 7.000 м в вертикальной плоскости (под действием сил тяжести) и около 20.000 м — в горизонтальной (под действием боковой ветровой нагрузки). Благодаря большим радиусам кривизны пути движение моно-юнибуса будет комфортным даже при ураганном ветре, когда объявляют штормовое предупреждение и когда большинство других известных транспортных систем эксплуатироваться не будет.

В реальности максимальный боковой выгиб пути под действием ветра будет значительно меньшим, т.к. ветровая нагрузка будет в 3—4 раза ниже расчетной (до 20—30 кгс/м²), коэффициент аэродинамического сопротивления рельса-струны будет не $C_w = 1,2$, как принято в расчетах, а не более $C_w = 0,5—0,6$ (а с аэродинамическими обтекателями, которыми может быть снабжен рельс-струна — не более $C_w = 0,2$), поэтому ветер практически не отразится на функционировании моноСТЮ.

Для увеличения срока службы струнной путевой структуры (по коррозии) целесообразно использовать оцинкованную высокопрочную стальную проволоку для струны, а для корпуса и головки рельса использовать нержавеющие стали. Для полной защиты от коррозии наиболее ответственного элемента моноСТЮ — струны — целесообразно в качестве заполнителя использовать композиты на основе полимерных смол (эпоксидная и кремнийорганическая).

Важным конкурентным преимуществом струнного транспорта по сравнению с другими ноу-хау в транспортной сфере является то, что путевая структура и опоры моноСТЮ спроектированы как транспортная эстакада в соответствии с требованиями российского СНиП 2.05.03-84 «Мосты и трубы», а также — с учетом основных положений мостовых норм США и ЕС, поэтому не требуют сертификации.

Для каждой спроектированной струнной трассы, как и для любого транспортного сооружения, необходима лишь экспертиза в соответствующих государственных структурах и испытания при вводе в эксплуатацию. При этом несущая часть рельса-струны спроектирована как неразрезная балка моста или путепровода, прогиб которой на большом пролете под колесной нагрузкой не только не приводит к появлению неровностей пути, но и является штатным. Этот прогиб необходим для обеспечения требуемого перепада высот между станциями и серединой пролета, без чего нельзя получить требуемую высокую скорость движения, не используя мощный двигатель в транспортном средстве.

Коэффициент сопротивления качению стального двухребордного колеса с цилиндрическим опиранием по стальному рельсу будет равен в моноСТЮ примерно 0,001 (т.е. коэффициент полезного действия колесного опирания будет 99,9%), что в 1,5—2 раза лучше, чем на железнодорожном транспорте (там коническое опирание у колес колесной пары), в 15—30 раз лучше, чем у резинового колеса автобуса или троллейбуса и в 500 раз лучше электродинамического подвеса поезда «Трансрапид», Германия, КПД которого менее 50%. Поэтому, например, при скорости 100 км/час 5-ти тонному моно-юнибусу на преодоление сопротивления качению колес необходима мощность привода 1,4 кВт против 2,5 кВт у железной дороги и 35 кВт у автобуса. За 20-ти летний срок службы моно-юнибуса это даст экономию топлива по сравнению с автобусом в 900 тыс. литров, или 500 тыс. USD.

Коэффициент аэродинамического сопротивления у моно-юнибуса, определенный экспериментально в результате многократных продувок моделей в аэродинамической трубе ЦНИИ им академика Крылова в г. С.-Петербурге, равен 0,1



(у автобуса — 0,6). За 20-ти летний срок службы моно-юнибуса это даст экономию топлива по сравнению с автобусом (для скорости движения 100 км/час) в 800 тыс. литров, или 480 тыс. USD, т.к. экономия мощности двигателя, расходуемой на аэродинамическое сопротивление, составит 33 кВт.

Потребная мощность привода, необходимая для движения моно-юнибуса на пролете, будет складываться из мощностей аэродинамического сопротивления, сопротивления качению колес и потерь в трансмиссии и будет ниже потребной мощности традиционных транспортных средств в 15—20 и более раз. Эта мощность будет возрастать от нуля на станции до максимума в середине пролета и может подводиться к колесам моно-юнибуса либо по этой же зависимости, либо в виде постоянного значения, усредненного для пролета. Средняя потребная мощность, необходимая на перегоне, в зависимости от длины пролета и максимальной скорости движения составит для одного моно-юнибуса 5—15 кВт, против 150—250 кВт для автобусов такой же вместимости и для таких же скоростей движения (90—135 км/час), поэтому в 15—20 и более раз моно-юнибус будет эффективнее, экономичнее и экологичнее традиционного городского автобуса.

Моно-юнибус будет эксплуатироваться в более комфортных условиях, в отличие от наземного городского транспорта, который не только ежедневно подвергается агрессивному химическому и механическому воздействию песка, пыли и грязи от дорожного покрытия, а зимой — снега, льда и антиобледенительных солей, но и требует ежедневной мойки с повышенным расходом воды и значительным количеством образующихся загрязненных стоков. Поэтому транспорт «второго уровня» не только потребует меньших эксплуатационных издержек, но и значительно дольше прослужит.

При скорости движения 130 км/час (36,1 м/с) по двухкилометровому пролету, представляющему собой криволинейную цепную линию, колесо модуля и сам моно-юнибус будут испытывать вертикальные ускорения в центре пролета (при радиусе кривизны пути на пролете $R = 7,4$ км), равные $0,18 \text{ м/с}^2$. Это настолько низкие вертикальные ускорения (например, в поезде на магнитном подвесе «Трансрапид», Германия, в пассажирском салоне допустимы вертикальные ускорения до 3 м/с^2), что по такому ровному пути юнибус сможет двигаться с отключенной подвеской, т.к. вертикальные ускорения для пассажиров в этом случае будут значительно ниже допустимых.

Снижение длины пятна контакта (в направлении движения) с 12—15 мм (у железнодорожного колеса с конической поверхностью катания) до 0,8—1 мм (у колеса моно-юнибуса с цилиндрической поверхностью катания) снизит сопротивление качению колеса и по этому показателю подвижной состав моноСТЮ будет более экономичным, чем железнодорожный подвижной состав. Уменьшение длины пятна контакта в 10—15 раз в направлении движения подвижного состава значительно снизит уровень шумов, генерируемых в зоне качения колеса упругим сжатием материалов стального колеса и стальной головки рельса (в сравнении с трамваем и железной дорогой — в несколько раз), а снижение величины контактных напряжений уменьшит частоту генерируемых звуковых волн. Значительному снижению шумов в моноСТЮ, создаваемых при качении стального колеса, будет способствовать также отсутствие температурных швов по всей длине трассы, задемпфированность головки рельса относительно струны и промежуточных опор, а

также наличие резиновой прослойки между бандажом и ступицей колеса моно-юнибуса.

На основании выполненных в течение 29 лет (с 1977 г.) исследований предложены научно обоснованные пути совершенствования высокоскоростного наземного транспорта, даны решения ряда технических, технологических, экономических и экологических проблем, имеющих большое народнохозяйственное значение. При решении проблемы были получены следующие основные результаты:

1. Предложена, научно обоснована и исследована принципиально новая струнная транспортная система, которая может быть отнесена к прорывным технологиям (единственная за всю историю развития техники транспортная система, являющаяся полностью российской разработкой). Определено, как наилучшим образом использовать физико-механические свойства материалов, чтобы снизить материалоемкость и капитальные затраты на сооружение транспортных коммуникаций. По этому показателю моноСТЮ является наименее материалоемкой и, соответственно, самой дешевой системой среди других скоростных транспортных систем «второго уровня».

2. Разработаны основы создания всех составных элементов струнных транспортных систем: опор (анкерных, промежуточных и тормозных), рельса-струны, путевой структуры, подвижного состава — пассажирского, грузового и грузопассажирского).

3. Разработана и испытана форма корпуса высокоскоростного транспортного модуля для струнных систем с минимальным коэффициентом аэродинамического сопротивления $C_x=0,075$, не имеющего аналогов в других видах транспорта (по этому показателю аэродинамическое сопротивление моно-юнибуса будет ниже чем у лучших спортивных автомобилей в 4—5 раз).

4. Разработаны основы технологии поточного строительства струнных транспортных систем.

5. Исследованы более 100 вариантов конструктивного выполнения струнной путевой структуры, осуществлена их оптимизация и выбор наиболее целесообразного варианта, рекомендуемого к использованию в г. Москве.

6. Исследована статика струнных транспортных систем, определены максимальные прогибы рельсов-струн под действием весовых и ветровых нагрузок, а путевой структуры — под действием подвижной нагрузки. Получены рекомендации по выбору и оптимизации основных параметров системы: усилий натяжения струн, длин пролетов, высот рельса-струны, размеров, вместимости и грузоподъемности транспортных модулей и др.

Определена в аналитической форме зависимость параметров нагруженной струны от температуры окружающей среды; показано, что в диапазоне ее возможных экстремальных значений ($-70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$) изменения параметров СТЮ находятся в приемлемых границах, допустимых существующими нормативами на большепролетные мосты.

7. Исследована динамика колебаний струнной путевой структуры и транспортного модуля при различных режимах движения (одиночный модуль и их поток в широком диапазоне скоростей), различной конструкции путевой структуры (сплошной и разрезной рельс-струна) и широком диапазоне конструктивных параметров (длина пролета, усилие натяжения струны, жесткость



рельса, масса экипажа, физико-механические характеристики используемых материалов, жесткость подвески колеса, демпфирующие способности элементов системы и др.). Сделаны выводы и даны рекомендации:

- определены условия организации безрезонансного движения одиночного экипажа и потока экипажей по СТЮ;
- определены условия, при которых обеспечивается, путем подбора конструктивных параметров СТЮ и режимов движения экипажей, движение потока нагрузок по невозмущенному полотну (колебания остаются позади каждого экипажа и затухают до появления следующего экипажа);
- определено, что струнная транспортная линия сплошной конструкции предпочтительнее по сравнению с СТЮ с разрезным над опорами корпусом, т.к. динамический прогиб такого пролета будет меньше, а его форма не будет иметь угловых точек.

8. Осуществлен технико-экономический анализ струнных транспортных систем для пассажирских и грузовых перевозок. Оптимизирована организация движения транспортных модулей с целью снижения себестоимости перевозок.

9. Получены следующие практические результаты:

- создаётся научно-производственная база в г. Хабаровске;
- построен экспериментальный 150-ти метровый участок СТЮ в г. Озёры Московской области; ведётся работа по его удлинению с проведением динамических испытаний СТЮ, транспортного модуля, их узлов и агрегатов;
- разработаны конструкции пассажирских модулей дальнего следования, пригородного и городского сообщения;
- спроектирован высокоскоростной транспортный модуль (моно-юнибус), по экономичности (в частности, по аэродинамическим качествам), не имеющий аналогов в мире;
- разработаны и изготовлены конструкции элементов СТЮ: опор, рельса и их узлов; сделаны заказы на опытное производство всех составных элементов СТЮ.

Благодаря своим уникальным качествам, СТЮ нашёл поддержку на самых различных уровнях, которая выражалась, в том числе, и в виде финансирования работ по Программе СТЮ. Стоит отдельно отметить, что СТЮ разрабатывается под эгидой ООН (регистрационные номера проектов в базе данных ООН: FS-RUS-98-S01 и FS-RUS-02-S03).

- В 1997 г. Президент Республики Беларусь А.Г. Лукашенко поручил премьер-министру Республики Беларусь «Оказать поддержку разработчику в завершении опытно-конструкторских работ по созданию струнной транспортной системы» (поручение от 21.02.1997 г. № 09/801-42).
- В 1997 г. инвестиционная Программа СТЮ включена в Федеральную целевую программу «Социально-экономическое развитие города-курорта Сочи на период до 2010 года» (постановление администрации г. Сочи от 10.09.1997 г. № 628).



- В 1997 г. в решении Международной конференции по развитию коммуникационной системы «Париж — Берлин — Варшава — Минск — Москва» (28—31 октября 1997 г., г. Минск, стр. 175 сборника решений), в работе которой приняли участие 7 министров транспорта европейских стран, одобренном на пленарном заседании конференции, отмечено, что «По развитию новейшего вида транспорта, как составляющей трансъевропейских коридоров № 2 и № 9: 1. Рекомендовать изучить возможность использования разработанной исследовательским центром «Юнитран» струнной транспортной системы в качестве высокоскоростной составляющей Критских транспортных коридоров».
- В 1998—2000 г.г. в Российской Федерации выполнялся проект ООН-ХАБИТАТ № FS-RUS-98-S01 «Устойчивое развитие населенных пунктов и улучшение их коммуникационной структуры с использованием струнной транспортной системы». Реализация этого проекта позволила определить базовые критерии для внедрения СТЮ в условиях городских, пригородных и междугородных транспортных перевозок на примере г. Сочи. В результате работы подготовлен бизнес-план использования СТЮ в регионе г. Сочи. Строительство трассы СТЮ «Сочи — Адлер — Красная Поляна — Энгельмановы Поляны» включено в Федеральную целевую программу «Социально-экономическое развитие города-курорта Сочи на период до 2010 года». Для реализации программы администрация Сочи наметила выделить земельные участки.
- 20—21 апреля 1999 г. в г. Сочи состоялся Международный семинар по реализации вышеуказанного проекта ООН-ХАБИТАТ. В семинаре участвовали 49 российских специалистов из Москвы, Нижнего Новгорода, Сочи и 6 иностранных специалистов.
- В 2000 г. заместитель Генерального секретаря ООН, исполнительный директор программы ЮНЕП и ООН-ХАБИТАТ К. Тепфер обратился с письмом к генеральному директору ЮНЕП, в котором предложил продвинуть проект СТЮ на следующую ступень развития (планируемый объём финансирования 30 млн. USD), рассматривая СТЮ как реальную альтернативу существующим видам транспорта, в первую очередь с точки зрения защиты окружающей среды и рационального использования земельных ресурсов.
- В 2001 г. в рамках Программы сотрудничества Госстроя России с Центром ООН-ХАБИТАТ на 2002—2003 г.г. подписан проект № FS-RUS-02-S03 «Обеспечение устойчивого развития населенных пунктов и защита городской окружающей среды с использованием струнной транспортной системы», разработанный с учетом рекомендаций 25-й специальной сессии Генеральной Ассамблеи ООН «Стамбул +5».
- В 2001 г. с Администрацией Красноярского Края заключён договор на создание опытного участка СТЮ (в результате построен испытательный полигон СТЮ в г. Озёры Московской обл.).
- Активную поддержку Программе СТЮ оказывает Министерство транспорта РФ и Росстрой России, в частности, в поиске Инвестора для Программы СТЮ (например, Минтранс в 2001 г. официально предложил Минпромнаучке РФ



выступить Инвестором с объёмом финансирования 42 млн. USD; Программа СТЮ была размещена на официальном сайте Росстроя РФ).

- В феврале 2002 года губернатор Московской области подписал распоряжение о создании межведомственной рабочей группы для координации деятельности по созданию транспортного кольца, связывающего аэропорты Московского авиационного узла между собой и Москвой, с использованием струнной транспортной системы (распоряжение № 116-РГ от 15.02.2002).
- 12 апреля 2002 года в г. Озеры Московской области на испытательном полигоне СТЮ состоялось совместное выездное заседание научно-технических советов Министерства транспорта РФ и Министерства путей сообщения РФ. Оба министерства были представлены первыми заместителями министров. На заседании присутствовали также представители более чем 50-ти ведущих транспортных организаций России, научно-исследовательских институтов и правительственных структур. По итогам заседания струнная транспортная система была признана состоявшимся принципиально новым видом транспорта и получила поддержку и одобрение.
- В июле 2005 г. с администрацией г. Хабаровска подписан договор на выполнение предпроектных работ, а в январе 2006 г. — договор подряда на выполнение проектных работ по созданию двухпутной городской трассы макроСТЮ, связывающей центр г. Хабаровска с берегом реки Амур.
- В марте 2006 г. с администрацией г. Ставрополя подписан договор на обоснование создания в г. Ставрополе высотной трассы моноСТЮ.

Работы по Программе СТЮ ведутся с 1977 года. Наиболее активно работы выполняются с 1998 года — с момента получения первого гранта ООН. В Программу вложено около 6 млн. USD (при пересчёте в текущие цены — 20% в год с учетом премии за риск — эта сумма составляет около 60 млн. USD). Было проведено большое количество исследований, экспериментов и испытаний. В 2001 г. построен опытный участок СТЮ в г. Озёры Московской области, который является первым в мире реализованным полномасштабным фрагментом реальной струнной транспортной системы. Разработана проектно-конструкторская документация на несколько десятков типов струнной путевой структуры, промежуточных и анкерных опор, транспортных модулей нескольких типов.

Имеются положительные заключения четырнадцати экспертиз, в том числе Сибирского отделения Российской академии транспорта, Госстроя РФ, Министерств экономики и транспорта РФ, Российской инженерной Академии, Ученого Совета Петербургского Государственного университета путей сообщения, экспертов Организации Объединённых Наций.

Научные труды по тематике СТЮ опубликованы в пяти монографиях, 26 научных докладах и статьях, создано 61 изобретение, результаты научно-технических разработок защищены в России и за рубежом 42 патентами (ряд патентов выдан на группу изобретений, поэтому изобретений больше, чем патентов).

В центральной прессе было опубликовано более 50 очерков и корреспонденций, по центральному российскому телевидению было показано более 10 репортажей (каналы НТВ, РТР, ОРТ, ТВ-6, «Культура», ТНТ, ТВЦ). Программа СТЮ освещалась за рубежом в прессе, по радио и по телевидению (Германия, Китай,



Южная Корея, ЮАР, ОАЭ, Швеция, Ливия, Пакистан и др.). СТЮ был представлен более чем на 50 выставках, ярмарках, симпозиумах, форумах, в том числе международных, награждён более чем 30 дипломами, грамотами, медалями, в том числе тремя знаками качества «Российская марка» и двумя золотыми медалями ВВЦ.

По заключению независимых экспертов-оценщиков, наработанная с 1982 г. интеллектуальная собственность автора и генерального конструктора СТЮ (нематериальные активы — патенты, ноу-хау, инженерные, конструкторские разработки, конструкторская, проектная, технологическая и другая документация) имеет сегодня стоимость 970 млн. USD.



3. Предварительные технические и экономические показатели

Таблица 1

Предварительные технические показатели будущей транспортной системы моноСТЮ по маршруту «Миракс Федерация — Миракс Плаза» по вариантам реализации

Наименование показателей	Показатели по вариантам трасс					
	Вариант 1		Вариант 2		Вариант 3	
	а	б	а	б	а	б
Протяженность трассы, м	750	950	750	890	800	940
Длина наибольшего пролета трассы, м	190	180	750	470	800	470
Высшая отметка трассы, м	188	188	302	302	302	302
Низшая отметка трассы, м	151	151	188	188	302	302
Наименьшее превышение трассы над препятствиями, м	35	30	100	150	170	190
Количество промежуточных опор, шт.	4	6	—	1	-	1
Максимальное горизонтальное натяжное усилие (от 2 рельс-струн), тс	120	110	240	150	240	150
Суммарная мощность двигателей моно-юнибуса, кВт	8	8	80	70	5	8
Пиковая мощность зарядных устройств на станциях, кВт	20	18	240	210	15	30
Сухой вес моно-юнибуса, т	2,0	2,0	2,9	2,6	2,0	2,0
Вес максимально загруженного моно-юнибуса, т	3,6	3,6	4,5	4,2	3,6	3,6
Максимальная скорость моно-юнибуса, км/час	60	50	18	18	80	60
Время посадки-высадки пассажиров, сек	30	30	60	60	30	30
Время в пути, сек.	83	130	155	189	78	116
Вместимость моно-юнибусов:						
- пассажиры, пасс.	21	21	21	21	21	21
- грузы, т	2	2	2	2	2	2
Необходимое количество подвижного состава (моно-юнибусов), шт.	7	8	6	12	6	8
Пропускная способность трассы в обе стороны, пасс./час	5000	5000	2500	5000	5000	5000
Долговечность элементов транспортной системы						
- путевая структура	100 лет					
- подвижной состав	20 лет					
- прочее оборудование	50 лет					



Таблица 2

Предварительные экономические показатели будущей транспортной системы моноСТЮ по маршруту «Миракс Федерация – Миракс Плаза» по вариантам реализации при пассажиропотоке 15 тыс. пасс./сутки (5,5 млн. пасс./год)

Наименование показателей	Показатели по вариантам трасс					
	Вариант 1		Вариант 2		Вариант 3	
	а	б	а	б	а	б
Годовые эксплуатационные издержки						
Исходные данные для расчета расхода электроэнергии на зарядку моно-юнибусов						
Годовое время работы системы моноСТЮ (круглосуточно), час	8760					
Коэффициент использования мощности двигателей на маршруте	50%					
Среднесуточный коэффициент использования подвижного состава	70%					
Стоимость электроэнергии за 1 кВт×час, USD	0,10					
Суммарная мощность двигателей моно-юнибуса, кВт	8	8	80	70	5	8
Количество моно-юнибусов, шт.	7	8	6	12	6	8
1. Стоимость потребляемой электроэнергии, тыс. USD/год	17,17	19,62	147,17	257,54	9,20	19,62
2. Запчасти и расходные материалы, тыс. USD/год	35,0					
3. Заработная плата (15 чел.× 1000 USD × 12 мес.), тыс. USD/год	180,0					
4. Прочие эксплуатационные затраты, тыс. USD/год	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
Всего годовые эксплуатационные расходы, тыс. USD/год	212,17	214,62	342,17	452,54	204,20	214,62
Доходы от продажи услуг						
1. Доход от продажи пассажирских транспортных услуг при тарифе 1 USD за поездку, тыс. USD	5500	5500	2750	5500	5500	5500
2. Доход от продажи грузовых транспортных услуг при тарифе 10 USD за 1 тонно-перевозку, тыс. USD	500	500	250	500	500	500
Всего годовой доход, тыс. USD	6000	6000	3000	6000	6000	6000
Годовая маржинальная прибыль (доход – издержки), тыс. USD	5787,8	5785,4	2657,8	5547,5	5795,8	5785,4



4. Предварительная стоимость реализации Проекта

Таблица 3

Предварительная стоимость реализации Проекта будущей транспортной системы моноСТЮ по маршруту «Миракс Федерация — Миракс Плаза»

Наименование затрат	Стоимость затрат по вариантам трасс, тыс. USD					
	Вариант 1		Вариант 2		Вариант 3	
	а	б	а	б	а	б
Проектирование	2950	3100	2950	3100	2950	3100
Строительство	3600	4400	2800	3600	2800	3600
Проектирование, изготовление и поставка подвижного состава	1400	1600	1800	3600	1500	1800
Проектирование, изготовление и поставка нестандартизированного оборудования	850	850	850	850	850	850
Поставка стандартизированного оборудования	120	120	120	120	120	120
Итого затрат	8920	10070	8520	11270	8220	9470
НДС, 18%	1605,6	1812,6	1533,6	2028,6	1479,6	1704,6
Итого с НДС	10525,6	11882,6	10053,6	13298,6	9699,6	11174,6

По технико-экономическим показателям наиболее целесообразен к реализации вариант 3а (см. рис. 5) — однопролетная высотная трасса моноСТЮ с малым наклоном путевой структуры

5. План-график

Предварительный план-график производства работ по созданию транспортной системы моноСТЮ представлен на рис. 10.

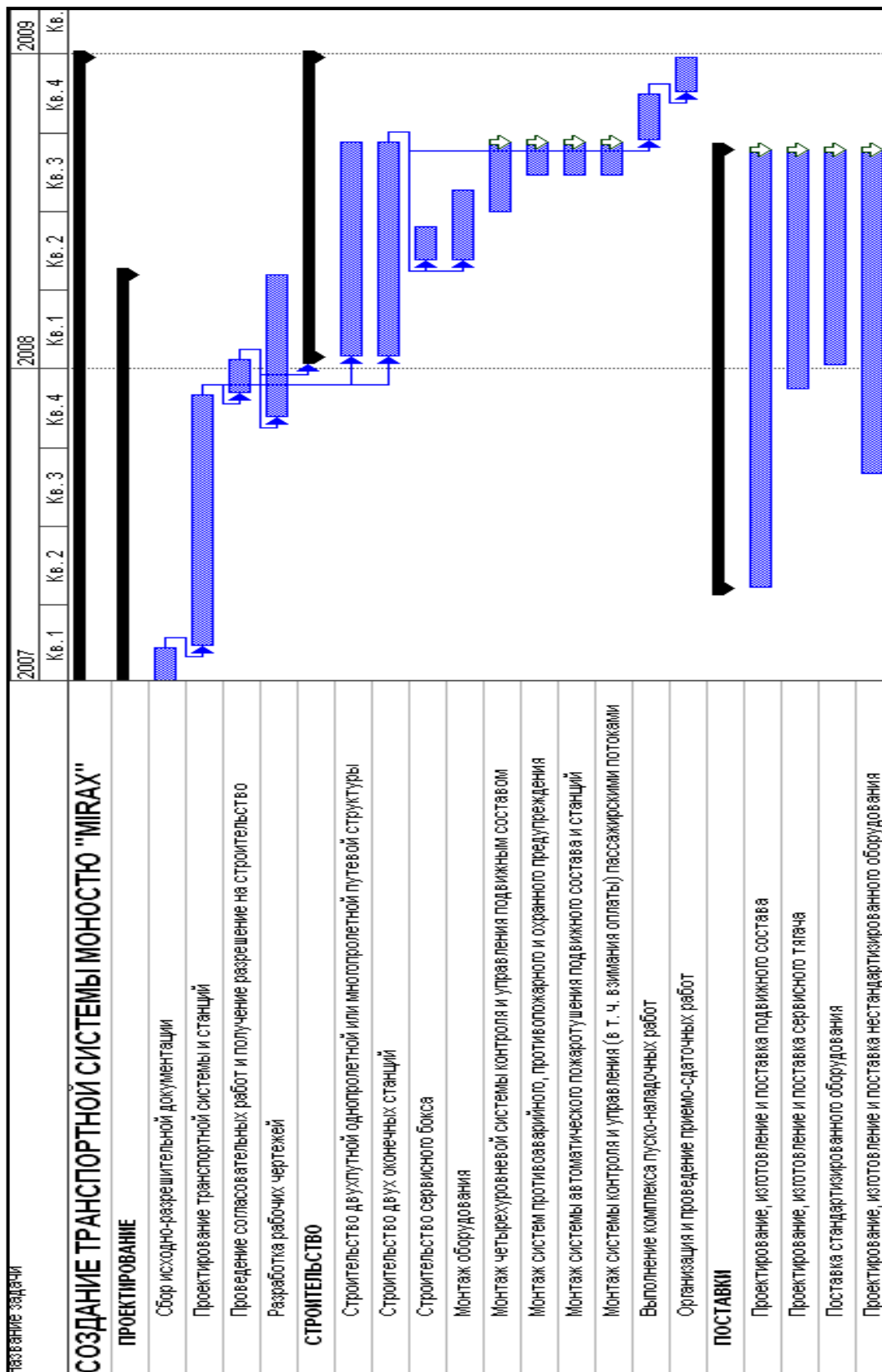


Рис. 10. Предварительный план-график по Проекту