

ООО «СТЮ»

Техническое предложение

СТЮ в г. Ханты-Мансийске



Содержание

1. Общая информация	2
2. Двухрельсовый СТЮ	6
3. Однорельсовый СТЮ (моноСТЮ)	9
4. Путевая структура СТЮ	11
5. Техничко-экономические показатели	15

Москва, 2007

1. Общая информация

Для обеспечения перспективного транспортного развития г. Ханты-Мансийска предлагается применение высотного рельсо-струнного транспорта Юницкого (СТЮ).

СТЮ относится к разновидности внеуличного городского пассажирского электрического рельсового транспорта.

При создании СТЮ 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 скоростные городские 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.

Существующий городской пассажирский транспорт — автобусы, микроавтобусы, легковые автомобили — является транспортом «первого уровня», т.к. ездовое полотно в нем размещено непосредственно на поверхности земли. Этим обусловлены все основные его недостатки: высокий транспортный травматизм, большая площадь дорогой городской земли, отчуждаемой транспортом, пересечения дорог на одном уровне друг с другом и с пешеходами, плохая экология и шум от подвижного состава, проезжающего в непосредственной близости от жилых зданий и пешеходов и др.

Подъем подвижного состава над поверхностью земли, т.е. на «второй уровень», повышает безопасность движения на несколько порядков, т.к. жителям города и городским животным предоставляется для перемещения поверхность земли (город может стать пешеходным), а движение подвижного состава осуществляется по четко обозначенным путям (а не в произвольном месте, как у автомобильного транспорта). При этом значительно может быть снижен уровень шумов, производимых транспортной системой, и улучшена экология пассажирских перевозок благодаря

уменьшению на порядок расхода топлива (или электрической энергии) на одну и ту же транспортную работу.

СТЮ даст человеку возможность, наряду с комфортным решением основной функциональной задачи — быстрой и безопасной доставкой пассажира, — решать эстетические функции. Большая площадь остекления, комфортные сидения, мягкий бархатный путь превратят обычную дорогу в наслаждение окружающим городским пейзажем с высоты птичьего полета. Каждый транспортный модуль снабжен системой климат-контроля, причем исходный воздух будет чист, т.к. будет забираться на высоте 6—10 м и более (а не у поверхности асфальта, как на существующем городском транспорте), в нем будут отсутствовать, в отличие от автомобильных дорог, запах горюче-смазочных материалов и нагретого на солнце асфальта, выхлоп продуктов горения потока автомобилей и т.п.

Движение рельсовых автомобилей по рельсо-струнной путевой структуре не зависит от погодных и дорожных условий (ветер, дождь, снег, туман, гололед и др.), на трассе нет светофоров, пересечений в одном уровне с другими видами транспорта и пешеходами, поэтому средняя скорость движения на СТЮ будет значительно выше (в 2—3 раза и более), чем в существующем наземном городском общественном транспорте. Это повысит комфортность для пассажиров, т.к. они быстрее и в более безопасных и комфортных условиях воспользуются транспортной услугой.

Высокая частота следования транспортных модулей (каждые 1—2 минуты, а в часы пик — 20 секунд) и относительно небольшая их вместимость позволят избежать скопления пассажиров на остановках (станциях), ускорят посадку-высадку пассажиров и, в конечном итоге, повысят комфортность транспортной услуги.

Благодаря малым размерам подвижного состава и пониженной его вместимости (в сравнении с автобусом, троллейбусом и трамваем), рельсовые автомобили СТЮ будут следовать с высокой частотой, поэтому пассажиры не будут долго ожидать на остановке, что особенно важно в экстремальных погодных условиях (сильный мороз, ветер, проливной дождь, жара и т.д.), а также для пожилых людей, детей, людей с ослабленным здоровьем. При этом пассажир будет ожидать транспорт, находясь в комфортных условиях, — в современной и уютной станции, отапливаемой зимой и кондиционируемой летом.

СТЮ является всепогодным транспортом. Поэтому ни проливной дождь, ни ураганный ветер, ни снежные заносы на улицах не повлияют на график движения подвижного состава. СТЮ сможет работать и при наводнениях, когда наземный городской транспорт будет парализован, а также при землетрясениях и других стихийных бедствиях. Не повлияет на работу струнного транспорта и обесточивание города (в результате стихийных бедствий или сбоя в работе электростанций или электрических сетей), т.к. каждая пассажирская станция СТЮ будет иметь аварийный дизель-генератор (достаточно иметь аварийную мощность в 20—30 кВт).

Путевая структура СТЮ зимой не требует очистки от снега и льда (они раздавливаются стальным колесом и сбрасываются им с рельса-струны), в то время как содержание проезжей части городских дорог в надлежащем состоянии в условиях продолжительной зимы с обильными снегопадами требует затрат в 200—300 тыс. рублей в год на один километр протяженности улиц (сюда входит не только зарплата занятых на уборке снега людей, но и стоимость снегоуборочных машин и самосвалов для вывоза снега, расход горюче-смазочных материалов, ухудшение дорожно-транспортных условий на период уборки снега и увеличение дорожно-транспортных происшествий с повреждением транспортных средств, травматизмом и гибелью людей, простой общественного городского транспорта и личного транспорта, опоздания на работу из-за образования «пробок», расход антиобледенительных реагентов и др.). За срок службы СТЮ (100 лет) экономия на этом составит в городском бюджете более 20 млн. руб./км, что сравнимо со стоимостью строительства 1 км городской трассы СТЮ.

Расположение предлагаемых трасс СТЮ учитывает современную планировку города Ханты-Мансийска и, соответственно, существующие пассажиропотоки, а перспективы развития этих трасс — учитывают перспективы генеральной планировки города (см. рис. 1).

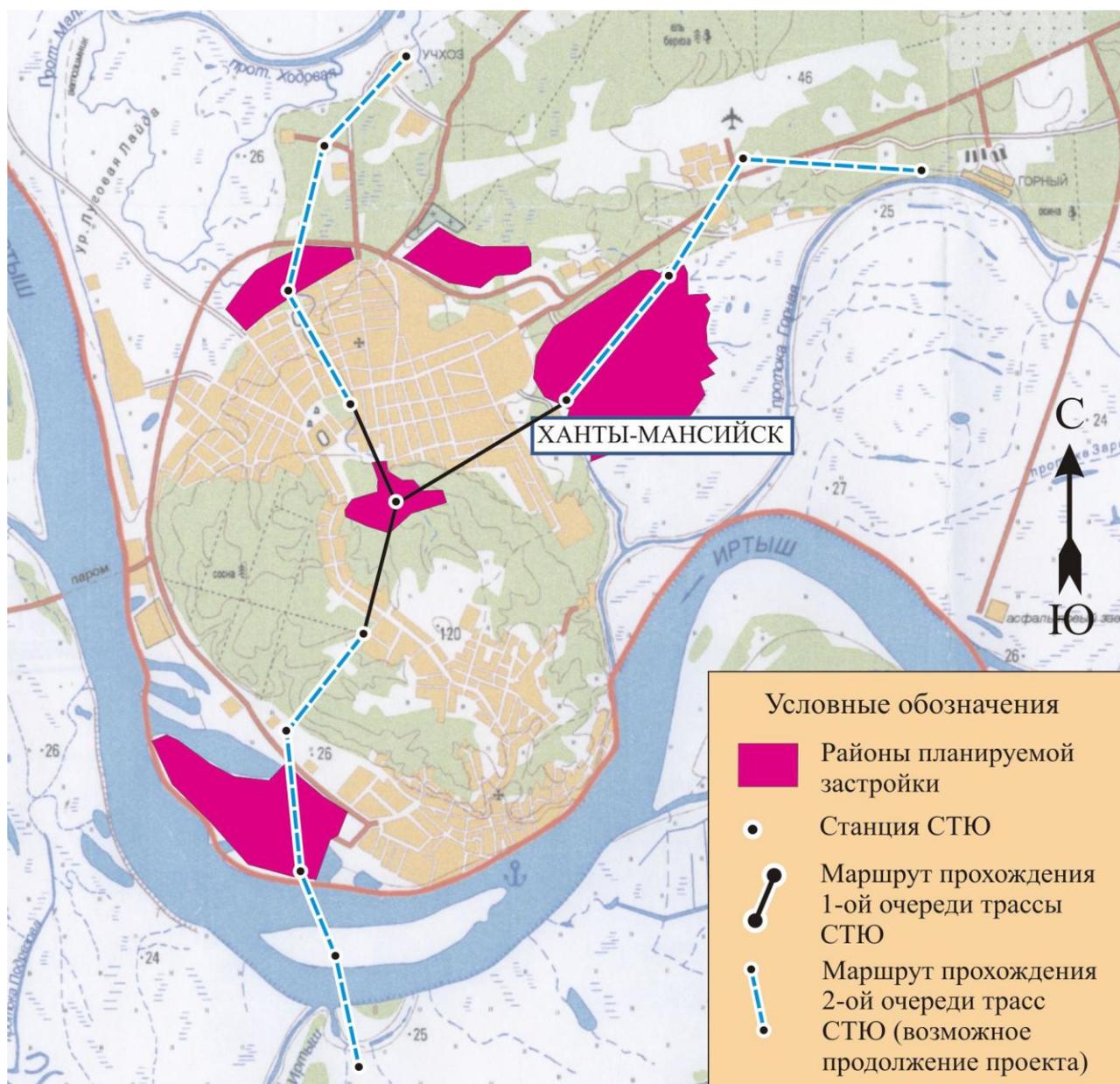


Рис. 1. Предложение ООО «СТЮ» по организации перспективного транспортного сообщения в г. Ханты-Мансийске с помощью СТЮ, с возможностью освоения левого берега реки Иртыш

2. Двухрельсовый СТЮ

Для двухрельсового СТЮ колеей 1,5 м в г. Ханты-Мансийске разработаны четыре варианта юнибуса, два из которых высокоаэродинамичны (см. рис. 2 и 3) и будут потреблять меньше энергии на движение (на 50%), но будут дороже в производстве (на 500—600 тыс. руб.), а два других варианта — имеют улучшенную эргономику и будут дешевле в производстве, но менее экономичны по расходу энергии на движение (см. рис. 4 и 5).

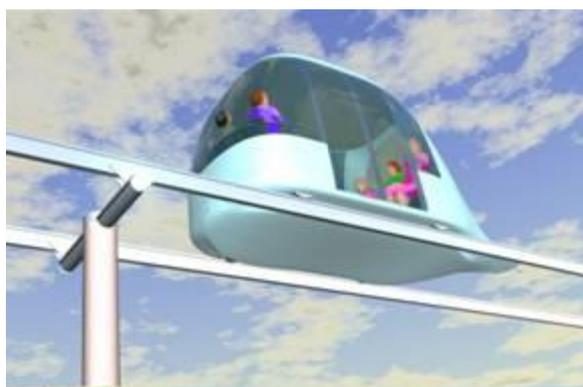


Рис. 2. Юнибус модели Ю-324П
исполнения 01

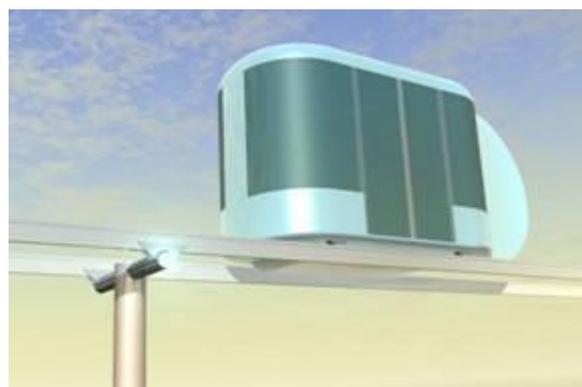


Рис. 3. Юнибус модели Ю-324П
исполнения 04

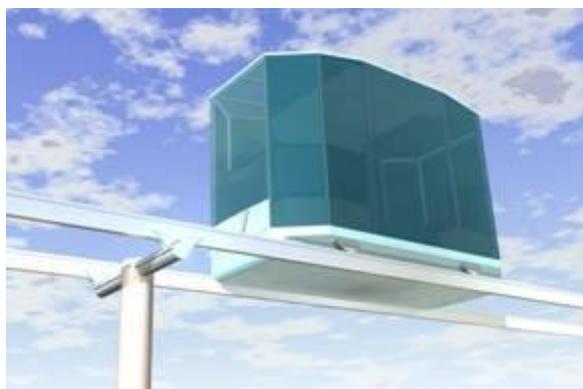


Рис. 4. Юнибус модели Ю-324П
исполнения 02



Рис. 5. Юнибус модели Ю-324П
исполнения 03

Комфортная вместимость юнибуса — 12 пассажиров (из них 6 для сидения), в часы пик — до 20 пассажиров, масса (без пассажиров) — 1,5 т, эксплуатационная скорость — 60—100 км/ч, средняя скорость на перегоне — 40—60 км/ч,

максимальный преодолеваемый продольный уклон пути — 8,8% при сильном встречном ветре (54 км/ч), время в пути между остановками (станциями «второго уровня»), отстоящими друг от друга на расстоянии 1 км, — 1,5 мин.

Юнибус Ю-324П предназначен для эксплуатации на электрифицированных городских линиях СТЮ, рельсы-струны которых размещены на опорах высотой 6—10 м и более, установленных с шагом 30—40 м и более. Для обеспечения аварийных режимов работы (например, из-за выхода из строя одного из двух двигателей), модуль имеет два силовых блока с электродвигателями мощностью по 7,5 кВт каждый — по двигателю на колесную пару. Избыточная мощность привода позволяет, при необходимости, получать юнибусу на длинных горизонтальных перегонах высокие скорости движения — до 100 км/ч и выше для юнибуса исполнений 01 и 04, и 75 км/ч — для исполнений 02 и 03.

Определена устойчивость юнибуса на рельсо-струнной путевой структуре при асимметричном размещении пассажиров в салоне и штормовом боковом ветре: во всех вариантах исполнения, при оснащении юнибусов противосходной системой, они могут эксплуатироваться на трассе «второго уровня» при боковом ветре 250 км/ч и более.

Варианты общих видов трасс двухрельсового СТЮ с юнибусами модели Ю-324П в г. Ханты-Мансийске показаны на рис. 6 и 7.

На рис. 8 и 9 показаны варианты станций «второго уровня» городского двухрельсового СТЮ для г. Ханты-Мансийска.



Рис. 6. Вариант общего вида трассы двухрельсового СТЮ в г. Ханты-Мансийске



Рис. 7. Вариант общего вида трассы двухрельсового СТЮ в г. Ханты-Мансийске

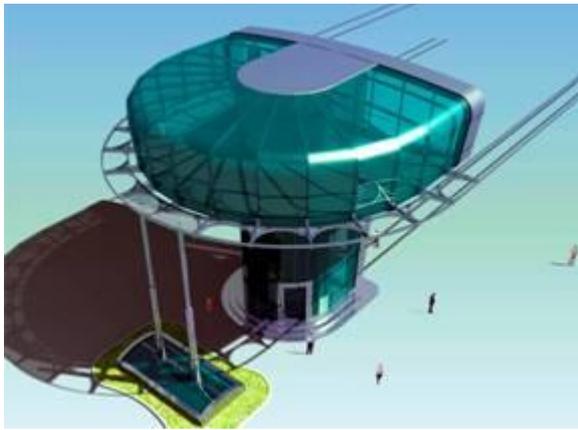


Рис. 8. Вариант общего вида станции
двухрельсового СТЮ
для г. Ханты-Мансийска

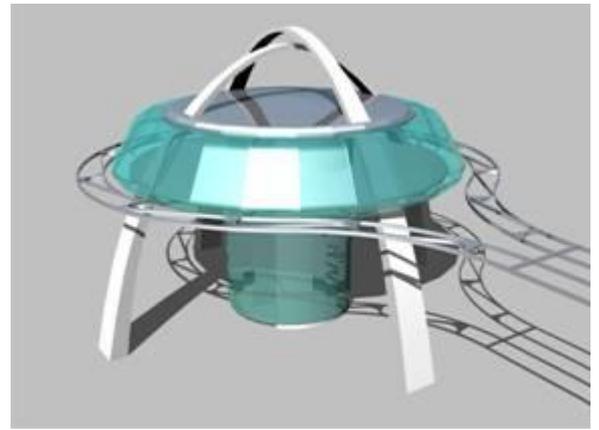


Рис. 9. Вариант общего вида станции
двухрельсового СТЮ
для г. Ханты-Мансийска

3. Однорельсовый СТЮ (моноСТЮ)

Однорельсовый подвесной автомобиль (моно-юнибус) модели Ю-372П разработан для городского однорельсового двухпутного СТЮ (моноСТЮ) в г. Ханты-Мансийске.

ООО «СТЮ» разработаны два высокоаэродинамичных варианта моно-юнибуса (см. рис. 10 и 11), пассажирская кабина которых по своим обводам, габаритам, дизайну и эргономике унифицирована с кабинами среднего двухрельсового юнибуса Ю-324 колесей 1,5 м. Это снизит стоимость производства подвижного состава и ускорит организацию его выпуска в будущем для трассы моноСТЮ в г. Ханты-Мансийске, если она будет заказана.

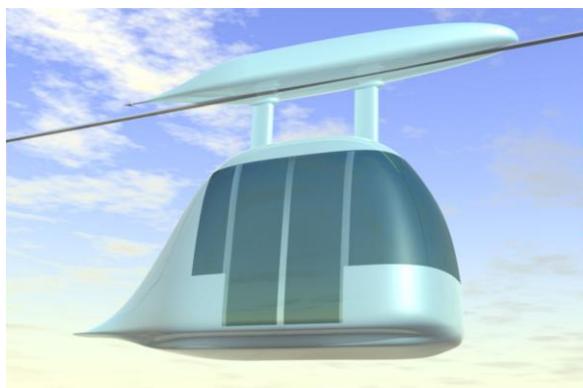


Рис. 10. Моно-юнибус модели Ю-372П
исполнения 01

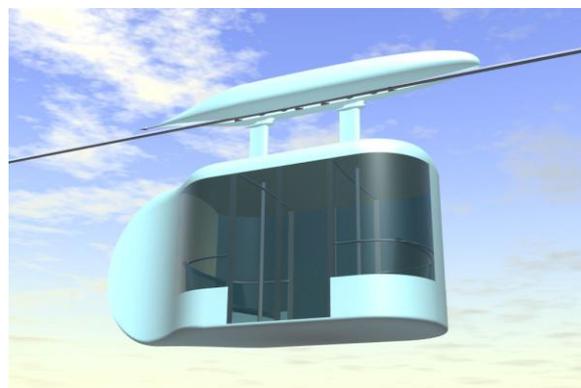


Рис. 11. Моно-юнибус модели Ю-372П
исполнения 02

Комфортная вместимость моно-юнибуса — 12 пассажиров (из них 6 для сидения), в часы пик — до 20 пассажиров, масса (без пассажиров) — 1,5 т, эксплуатационная скорость — 60—100 км/ч, средняя скорость на перегоне — 40—60 км/ч. Конструктивно он состоит из двух частей: четырехколесного шасси, поставленного сверху на монорельс-струну, и кабину, подвешенную снизу на двух силовых штангах.

Моно-юнибус предназначен для эксплуатации на электрифицированных высотных линиях моноСТЮ, размещенных на опорах высотой 30—50 м и более, размещенных с шагом 300—1500 м. Благодаря провису рельса-струны (например, равном 15,2 м на расчетном пролете длиной 700 м) на первом участке пути модуль разгоняется гравитацией до скорости 62 км/ч, а затем, на подъеме, опять же

гравитацией тормозится до нулевой скорости при въезде на следующую станцию. Для компенсации аэродинамических потерь и затрат энергии на преодоление сопротивления качению колес, к приводу моно-юнибуса необходимо подводить, в среднем на пролете, 0,9 кВт мощности при безветрии и 1,6 кВт — при встречном ветре, имеющем скорость 54 км/ч. Для обеспечения аварийных режимов работы (например, из-за выхода из строя большей части двигателей), модуль имеет четыре электродвигателя мощностью по 5,5 кВт каждый — по двигателю на опорное колесо. Избыточная мощность привода позволяет, при необходимости, получать моно-юнибусу более высокие скорости движения — до 100 км/ч даже на одном исправном двигателе, не «зависнув» при этом на пролете, а преодолев его по инерции и в любом случае — добравшись до следующей станции.

Вариант общего вида трассы моноСТЮ с моно-юнибусом модели Ю-372П в г. Ханты-Мансийске показан на рис. 12, а вариант общего вида станции моноСТЮ для г. Ханты-Мансийска — на рис. 13.



Рис. 12. Вариант общего вида трассы моноСТЮ в г. Ханты-Мансийске



Рис. 13. Вариант общего вида станции моноСТЮ для г. Ханты-Мансийска

4. Путьевая структура СТЮ

При создании высотной городской пассажирской двухпутной транспортной системы в г. Ханты-Мансийске на базе струнных технологий, наиболее сложным и ответственным техническим решением, с инженерной точки зрения, станет рельсо-струнная путьевая структура, поднятая на высоту 6—10 м и более. А наиболее ответственным элементом, определяющим все основные технико-экономические показатели такой транспортной системы «второго уровня», станет рельс-струна. Только от него, в частности, зависит надежность, долговечность и безопасность системы, ровность пути и комфортность движения скоростных рельсовых автомобилей — юнибусов, технологичность монтажа и стоимость строительства и др.

Рельсы-струны, установленные шарнирно на промежуточных опорах и жестко закрепленные в анкерных опорах, отстоящих друг от друга на расстоянии 1—2 км и более, отнесены к разновидности висячего моста, в котором растянутый элемент (струна) размещен внутри балки жесткости (корпуса рельса) и омоноличен с ней специальным бетоном. Это позволило определить методику статических и динамических расчетов рельсо-струнных пролетов в условиях г. Ханты-Мансийска, максимальные и минимальные расчетные температуры (соответственно +55 °С и –55 °С), расчетные ветровые нагрузки на рельс-струну (74,5 кгс/м²) и юнибус (41 кгс/м²), а также — другие нагрузки и воздействия и их опасные сочетания.

На рис. 14 и 15 показаны, в масштабе 1:1, рельсы-струны, соответственно, для двухрельсового СТЮ и моноСТЮ, прочностные расчеты которых, применительно к природно-климатическим условиям г. Ханты-Мансийска, выполнило ООО «СТЮ».

В качестве примера для расчета взята рельсо-струнная эстакада скоростной трассы городского двухрельсового СТЮ колеи 1,5 м, высотой опор 10 м и с пролетами по 35 м. Для этого разработана конструкция рельса-струны, удовлетворяющая требованиям СНиП 2.05.03-84* «Мосты и трубы», и выполнен комплексный расчет его напряженно-деформированного состояния, в том числе — определены наиболее опасные нагружения и максимальные напряжения в конструкции при различных расчетных температурах: максимальной (+55 °С), минимальной (–55 °С) и температуре сборки (0 °С). Например, определено, что максимальный изгибающий момент и, соответственно, максимальные напряжения в

головке и корпусе рельса будут в сечении над опорой в момент нахождения колеса юнибуса на расстоянии 4 м от опоры (для одиночного юнибуса), либо когда сцепка из двух юнибусов будет находиться точно над опорой.

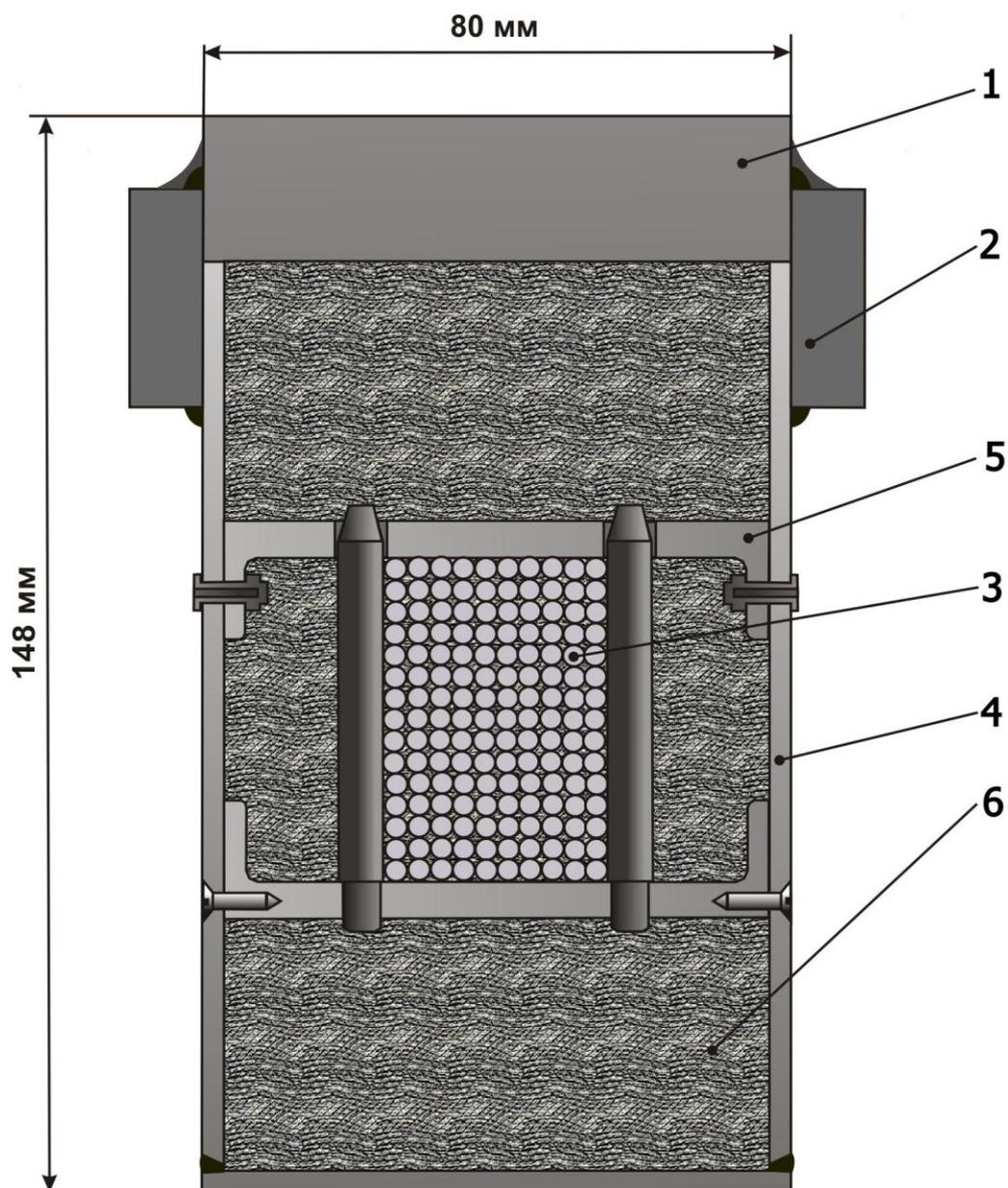


Рис. 14. Конструкция рельса-струны двухрельсового городского СТЮ для пролетов 35 м (масштаб 1:1):

- 1 — головка рельса (сталь, 20×80 мм); 2 — боковые щеки (сталь, 30×10 мм);
 3 — высокопрочная проволока (сталь, $\varnothing 3$, 150 штук); 4 — корпус (сварной швеллер, сталь, 128×80×3 мм);
 5 — крепление струны к корпусу рельса; 6 — наполнитель (модифицированный бетон).

Масса рельса-струны — 52,6 кг/м (масса бетона 19 кг/м).

Усилие натяжения в рельсе-струне — 202 тс (при 0°C)

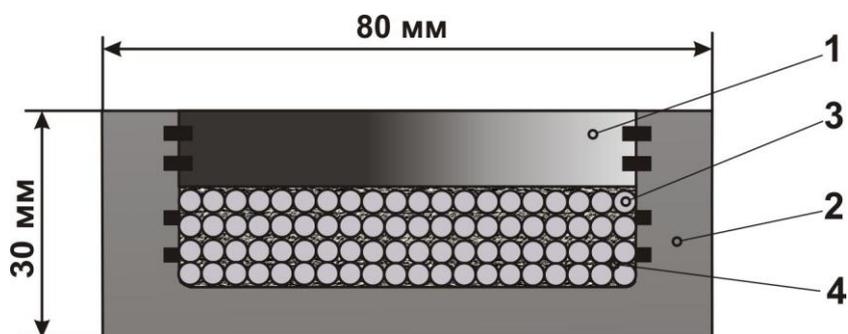


Рис. 15. Конструкция рельса-струны городского моноСТЮ для пролетов до 1000 м (масштаб 1:1):

1 — стальная головка рельса; 2 — стальной корпус; 3 — высокопрочная стальная проволока диаметром 3 мм (струна), 80 проволок; 4 — композит-герметик.

Масса рельса-струны — 17,9 кг/м.

Усилие натяжения в рельсе-струне — 89 тс (при 0°C)

Размах напряжений в струне рельсо-струнного пролета городского СТЮ в г. Ханты-Мансийске, при максимальном расчетном нагружении (проезд двух нагруженных городских юнибусов в сцепке общей массой 5 тонн), составит величину менее 0,3% от величины напряжений в струне (предварительных и температурных), во всем диапазоне рабочих температур: от $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+55\text{ }^{\circ}\text{C}$. Это означает, что нагрузка на струну — статическая и поэтому циклической составляющей можно пренебречь. Поэтому по любым существующим сегодня в России и за рубежом методикам расчета струна рельсо-струнной путевой структуры СТЮ обеспечит срок службы по выносливости не менее 100 лет.

Основную вертикальную жесткость под расчетной нагрузкой рельсо-струнного пролетного строения в СТЮ определяет не рельс (корпус и головка рельса, а также бетонный заполнитель), а — струна: соответственно 5—9% и 91—95%. Это отвечает названию транспортной системы — струнная (а не рельсовая). Соответственно, требуемая ровность пути на пролете (относительная неровность — не более 1/1500, или абсолютная — менее 20 мм на пролете 35 м) обеспечивается, в основном, также струной, а не рельсом. В свою очередь это обеспечит комфортные условия скоростного движения не только для пассажиров (вертикальные ускорения в салоне юнибуса — до $0,2\text{ м/с}^2$), но и для колеса — максимальные вертикальные ускорения в опорной части обода колеса будут до $0,8\text{ м/с}^2$, а ступицы — до $0,5\text{ м/с}^2$.

В качестве элемента струны рекомендована высокопрочная оцинкованная стальная проволока диаметром 3 мм производства Волгоградского завода «ВолгоМетиз» с пределом текучести 19.690 кгс/см². Высокая прочность проволок позволяет увеличить допустимые напряжения в струне до 15.750 кгс/см². При этом, благодаря иной схеме работы струны в СТЮ в сравнении с напрягаемой арматурой в мостах, несмотря на увеличенные допустимые напряжения, запас прочности (примерно в 400 раз) струны по воздействию на нее подвижной нагрузки, будет беспрецедентно более высоким, нежели у несущей арматуры в любой другой известной строительной конструкции самого высокого уровня ответственности. Струна может быть разрушена расчетной подвижной нагрузкой лишь при условной температуре –214 °С (эта температура, например, значительно ниже температуры жидкого азота), поэтому СТЮ может быть рекомендован к строительству в самых суровых природно-климатических условиях Ханты-Мансийского автономного округа — Югры, в том числе на Крайнем Севере.

5. Техничко-экономические показатели

Выполнены тягово-динамические расчеты юнибуса и моно-юнибуса и их тепловой баланс: определена мощность отопителя в зимний период года при температуре наружного воздуха $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ — 5,1 кВт, а также мощность кондиционера в летний период при температуре $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ — 6,2 кВт. Определены максимальные углы отклонения кабины из-за ассиметричного размещения пассажиров в салоне и штормового бокового ветра: в моно-юнибусе Ю-372П исполнения 01 этот угол составит $3,5^{\circ}$ (или 1:16), поэтому такой модуль может эксплуатироваться на высотной городской трассе моноСТЮ и при ураганном ветре.

Благодаря своим конструктивным особенностям, не имеющим аналогов в мире, моноСТЮ имеет беспрецедентно высокую эффективность. Например, в городской трассе, с остановками каждые 700 м, моно-юнибус будет потреблять всего 2,4 кВт×ч электроэнергии на 100 км пути, или, в переводе на дизельное топливо, — 0,72 л/100 км (в переводе на одного пассажира — 0,06 л/100 пасс.×км). У двухрельсового СТЮ эти показатели несколько хуже в сравнении с моноСТЮ, хотя они и недостижимы для других известных видов городского общественного транспорта. Например, на городской трассе, с остановками через каждые 1000 м, двадцатиместный юнибус будет потреблять 7,1 кВт×час электроэнергии на 100 км пути, или, в переводе на дизельное топливо, — 2,1 л/100 км (в переводе на одного пассажира — 0,18 л/100 пасс.×км).

В юнибусе и моно-юнибусе предусмотрены: автоматические стыковочные узлы для транспортировки аварийного модуля до ближайшей станции или гаража-парка; тоекратно продублированная система эвакуации пассажиров, в том числе, при необходимости, — их спуска на землю, а также — автоматическая и ручная системы пожаротушения.

Парк городских юнибусов и моно-юнибусов в количестве 15—20 шт. обойдется Заказчику примерно в 50 млн. руб. (при мелкосерийном производстве стоимость одного такого модуля составит 2,5—3,5 млн. руб.), т.е. столько, сколько стоит один современный сочлененный трамвайный вагон известной канадской компании Bombardier. Но, в отличие от одного трамвайного вагона вместимостью 180 пассажиров, парк таких 20-местных юнибусов или моно-юнибусов способен перевезти в перспективе, например, по 15-тикилометровой сети городских трасс

моноСТЮ, до 50 миллионов пассажиров в год. При этом на одну поездку пассажира (в среднем на расстояние 3 км) будет расходоваться всего 6,2 Вт×час электроэнергии стоимостью всего 1,6 копейки для моно-юнибуса и 5 копеек — для двухрельсового юнибуса. Учитывая другие невысокие эксплуатационные издержки (небольшой обслуживающий персонал, т.к. система автоматизирована; нет необходимости очищать зимой путевую структуру от снега и льда, а летом — мыть высотный рельсовый автомобиль от грязи и т.п.), себестоимость проезда пассажира на городской трассе СТЮ будет невысокой, в пределах 1 руб./пасс. Поэтому высотные городские трассы СТЮ и его рельсовый высотный подвижной состав будут высокорентабельными (рентабельность более 200—300%) и быстро окупятся, даже при невысоких пассажиропотоках, характерных для небольших городов, таких как г. Ханты-Мансийск.

Отказ от железнодорожных стандартов — колесных пар, реборд на колесе, конуса на опорной части колеса и цилиндрической опорной поверхности головки рельса — снизил контактные напряжения в СТЮ в паре «цилиндрическое колесо — плоская головка рельса» по сравнению с железной дорогой в 10—15 раз. Это повысит в несколько раз долговечность рельса, уменьшит его износы, снизит шумы при качении колеса, улучшит его сцепление с рельсом, а также существенно снизит затраты энергии и мощность привода на преодоление сопротивления качению колес городского скоростного подвижного состава СТЮ.

Металлоемкость рельса-струны скоростного городского двухрельсового СТЮ (см. рис. 14) столь низка, что, например, из материала одного современного железнодорожного рельса Р-75 протяженностью 1 км можно построить однопутную рельсо-струнную путевую структуру такой же протяженности и колеей 1,5 м. При этом оставшихся 30,8 кг/м металла (около 25 кг/м стали на железной дороге дополнительно уходит на крепление одного рельса к шпалам — на подкладки, болты, пружины и т.д.) будет достаточно, чтобы поставить на этом же километре 28 стальных опор СТЮ высотой 5—6 м. Этого же металла будет также достаточно, чтобы построить почти 3 км двухпутного моноСТЮ (см. рис. 15). Поэтому при одинаковой исходной цене одних и тех же марок сталей, в серийном производстве и при том же уровне механизации, который достигнут сегодня в железнодорожном строительстве, строительство скоростного городского СТЮ обойдется, в одних и тех

же природно-климатических условиях, по меньшей мере, в два раза дешевле, чем железной дороги или трамвайной линии, являющейся разновидностью железной дороги (ведь железной дороге еще необходимы шпалы, щебеночная и песчаная подушки, мосты, путепроводы, водопропускные трубы, столбы контактной сети и т.п., в том числе — в 40—50 раз больший землеотвод ценной городской земли).