

ООО «СТЮ»
115487, Москва, ул. Нагатинская, 18/29
тел./факс: (495) 680-52-53
тел./факс: (499) 616-15-48
e-mail: info@unitsky.ru
http: //www.unitsky.ru
skype: Anatoly Unitsky

Подвесная монорельсовая система MIRAX LRS

Технико-экономическое обоснование
возможности создания транспортной системы MIRAX LRS в г. Москве



Москва 2008

Содержание

1. Введение	4
2. Общие требования к транспортной системе MIRAX LRS	5
3. MIRAX LRS как одна из разновидностей транспортной системы моноСТЮ	8
4. Преимущества рельса-струны в сравнении с традиционными и перспективными путевыми системами	15
5. Преимущества подвесного трамвая перед традиционными и перспективными транспортными средствами	21
6. Подвижной состав MIRAX LRS	26
6.1. Технические характеристики и краткое описание подвесного трамвая MIRAX LRS	26
6.2. Краткий обзор технических решений, заложенных в конструкцию подвесного трамвая MIRAX LRS и их обоснование	33
6.3. Калькуляция отпускной цены подвесного трамвая MIRAX LRS	36
7. Гараж-парк	40
8. Принципы энергоснабжения транспортной системы MIRAX LRS	43
9. Автоматическая система управления	46
10. Проектирование, изготовление и сертификация подвижного состава	52
11. Обоснование планируемых объёмов перевозок автоматической транспортной системой MIRAX LRS по маршруту «Миракс Федерация — станция метро «Международная» — Миракс Плаза»	56
11.1. Введение	56
11.2. Расчёт интервала движения подвесных трамваев	57
11.3. Объём перевозок пассажиров в MIRAX LRS и циклограммы движения	60
11.4. Время стоянки на станции	65
11.5. Проверка минимального интервала движения подвесных трамваев из условия обеспечения безопасной дистанции	67
11.6. Выводы	68

12. Глубина проработки транспортных технологий СТЮ и патентная защита	70
13. Конкурентные преимущества транспортных услуг моноСТЮ	73
13.1. Преимущества городского транспорта «второго уровня»	73
13.2. Новый уровень скорости в городском общественном транспорте	75
13.3. Новый уровень комфортности перевозок	76
13.4. Новый уровень транспортной безопасности	78
13.5. Новый уровень экологической безопасности	86
13.6. Низкий уровень себестоимости транспортных услуг	88

1. Введение

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 всё большее применение находят транспортные системы «второго уровня»: монорельс, поезда на магнитном подвесе, канатные дороги и др. Однако эти системы в условиях городской застройки чрезвычайно дороги, имеют высокую себестоимость проезда и нерентабельны.

Башни MIRAX Федерация и MIRAX Плаза, строящиеся в г. Москве (ММДЦ «Москва-Сити»), должны быть соединены внеуличной пассажирской транспортной системой, размещённой на «втором уровне». Технико-экономическое обоснование транспортной системы MIRAX LRS анализирует возможность применения полностью автоматизированной транспортной системы с использованием технологий «МоноСТЮ» для соединения башен MIRAX Федерация и MIRAX Плаза.

2. Общие требования к транспортной системе MIRAX LRS

Башни MIRAX Федерация и MIRAX Плаза, строящиеся в г. Москве (ММДЦ «Москва-Сити»), предлагается соединить пассажирской транспортной системой MIRAX LRS с промежуточной станцией «Международная». Транспортная система «второго уровня» должна пересечь Третье транспортное кольцо и Москва-реку.

Заданная пропускная способность транспортной системы в часы пик составляет 10—15 тыс. пассажиров в час. Расстояния между станциями показано на рис. 2.1, а продольный профиль и план транспортной системы MIRAX LRS на базе двухпутного моноСТЮ — на рис. 2.2.

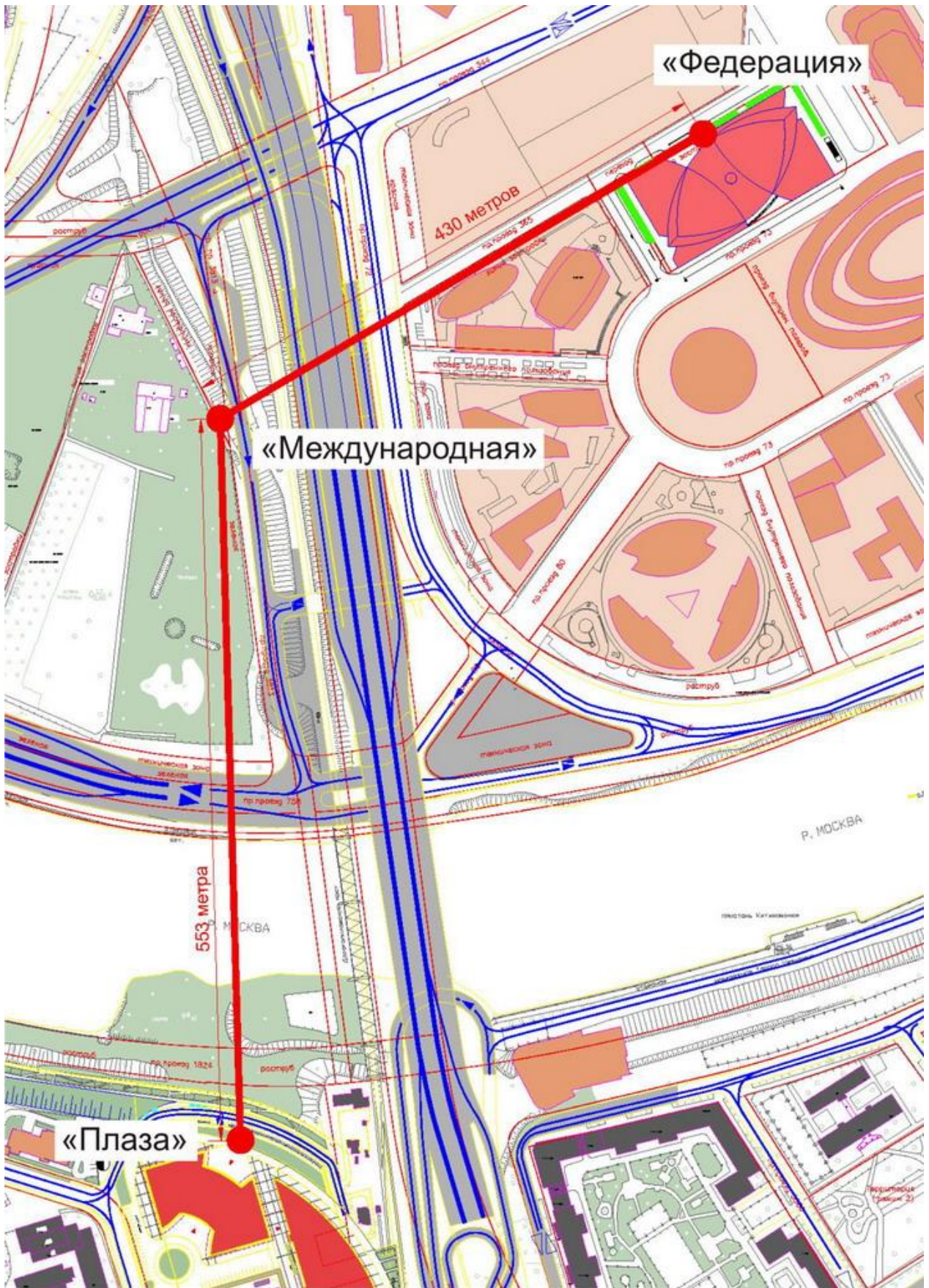


Рис. 2.1. Схема прохождения двухпутной трассы MIRAX LRS на участке «Федерация — Международная — Плаза»

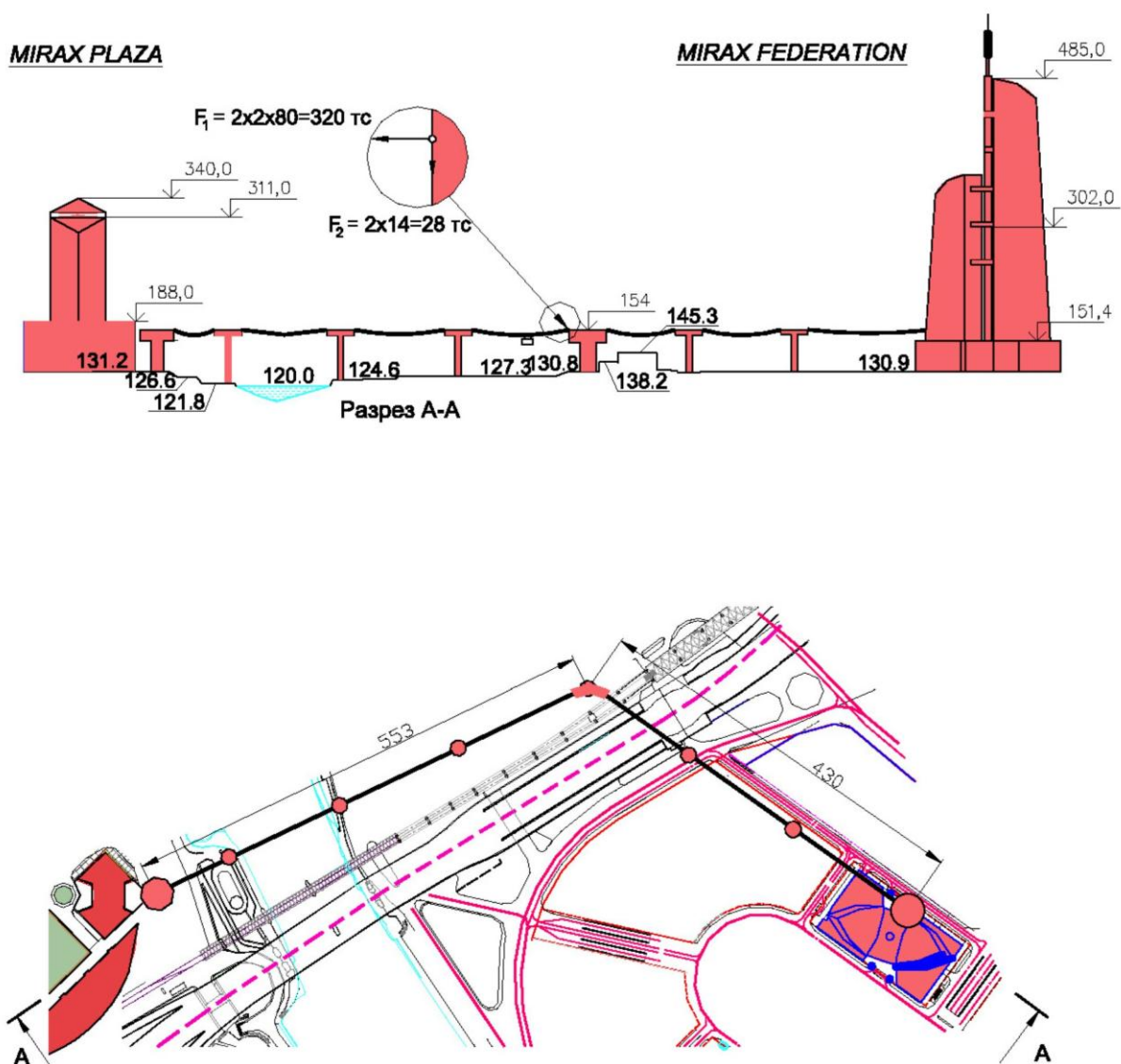


Рис. 2.2. Продольный профиль и план размещения двухпутной трассы MIRAX LRS на участке «Федерация — Плаза»

3. MIRAX LRS как одна из разновидностей транспортной системы моноСТЮ

К принципиально новому типу транспортных систем «второго уровня» относится струнный транспорт Юницкого (СТЮ). СТЮ представляет собой предварительно напряжённую рельсо-струнную конструкцию, по которой осуществляют движение специальные многоколесные пассажирские или грузовые рельсовые автомобили, поставленные на стальные колёса. Конструктивно рельсовые автомобили СТЮ являются разновидностью скоростного трамвая.

Разработаны различные типы СТЮ, но к использованию в существующей застройке в городе наиболее целесообразен монорельсовый вариант — моноСТЮ с подвесным пассажирским трамваем. МоноСТЮ позволяет прокладывать трассы с большими пролётами (до 2 км и более), имеет высокую скорость движения (до 100 км/час и более), 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. Возможен вариант моноСТЮ как с неэлектрифицированной транспортной линией (движение подвесных трамваев осуществляется за счёт бортовых электрических накопителей энергии, заряжаемых на станциях), так с электрифицированной линией, снабжённой контактным проводом, подвешенным к путевой структуре.

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 колёс подвижного состава и высокую безопасность движения; наработки в аэродинамике современных самолётов и гидродинамике подводных лодок помогли разработать скоростные подвесные трамваи 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.

Общий вид одного из вариантов исполнения высоких промежуточных опор, предлагаемых к использованию в MIRAX LRS, показан на рис. 3.1. На рис. 3.2 показан вариант исполнения концевой пассажирской станции, совмещённой с гаражом-парком, а на рис. 3.3 — зал ожиданий пассажирской станции MIRAX LRS.

На рис. 3.4 показано предварительное эскизное решение промежуточной станции «Международная», а на рис. 3.5 — конечных станций «Федерация» и «Плаза».

В моноСТЮ, на станциях, а также в гараже-парке, выполнены стрелочные переводы. Стрелочные переводы могут быть выполнены двух типов:

- горизонтальный, когда подвесной трамвай выводится с главного пути на вспомогательный путь, находящийся в стороне;
- вертикальный, когда подвесной трамвай перемещается с помощью стрелочного перевода на другой уровень — вверх или вниз.

На рис. 3.6 показана принципиальная схема вертикального стрелочного перевода.

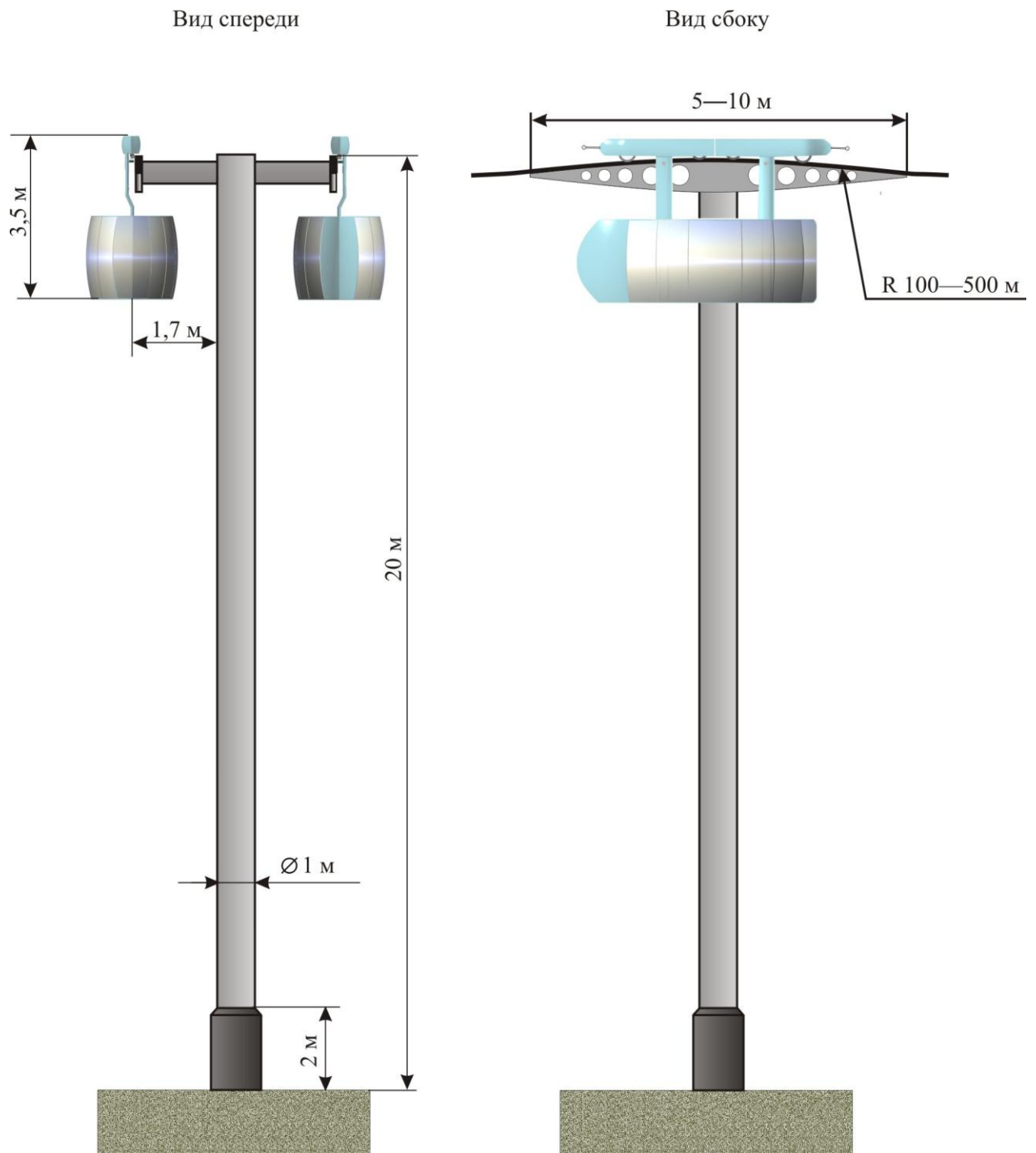


Рис. 3.1. Один из типов опор, применяемых на городской трассе двухпутного моноСТЮ

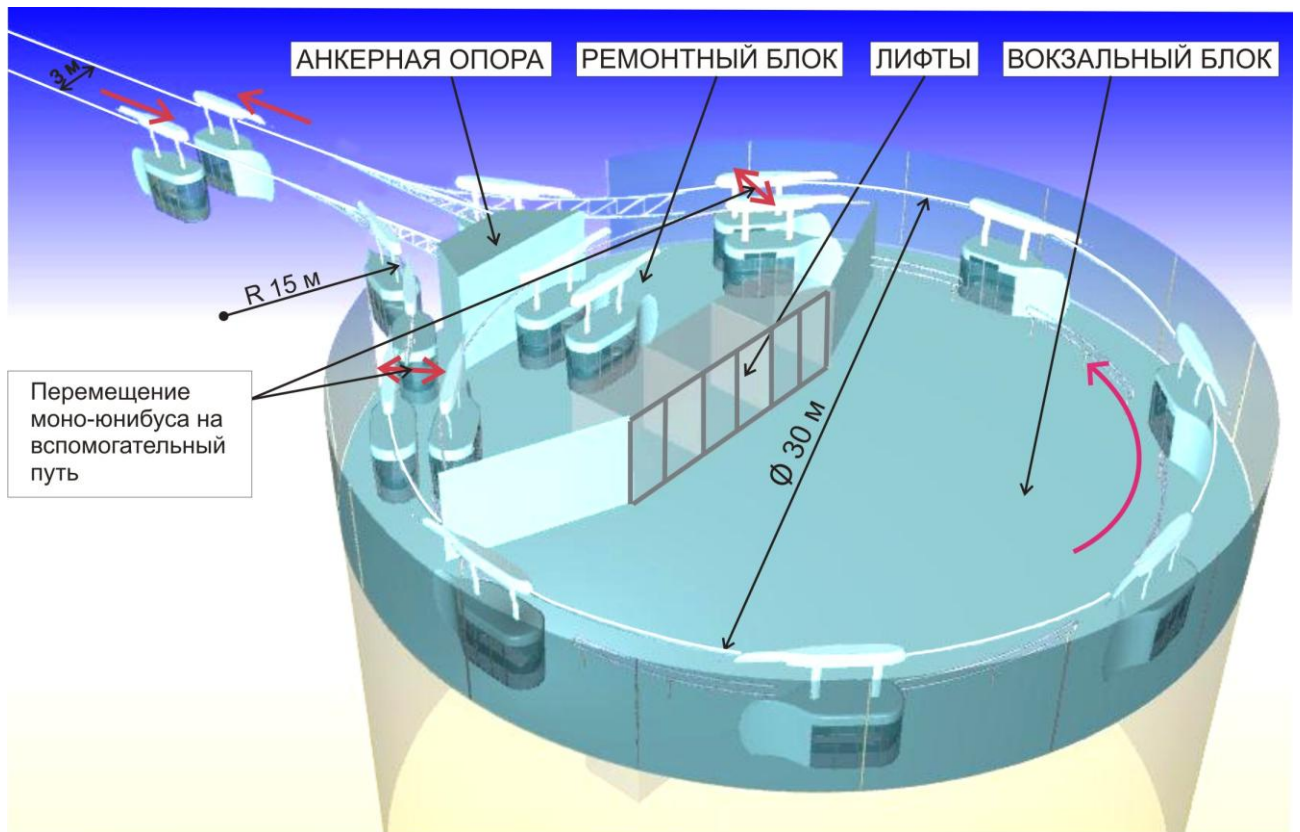


Рис. 3.2. Концевая пассажирская станция двухпутного моноСТЮ, совмещенная с гаражом-парком



Рис. 3.3. Зал ожиданий пассажирской станции транспортной системы MIRAX LRS

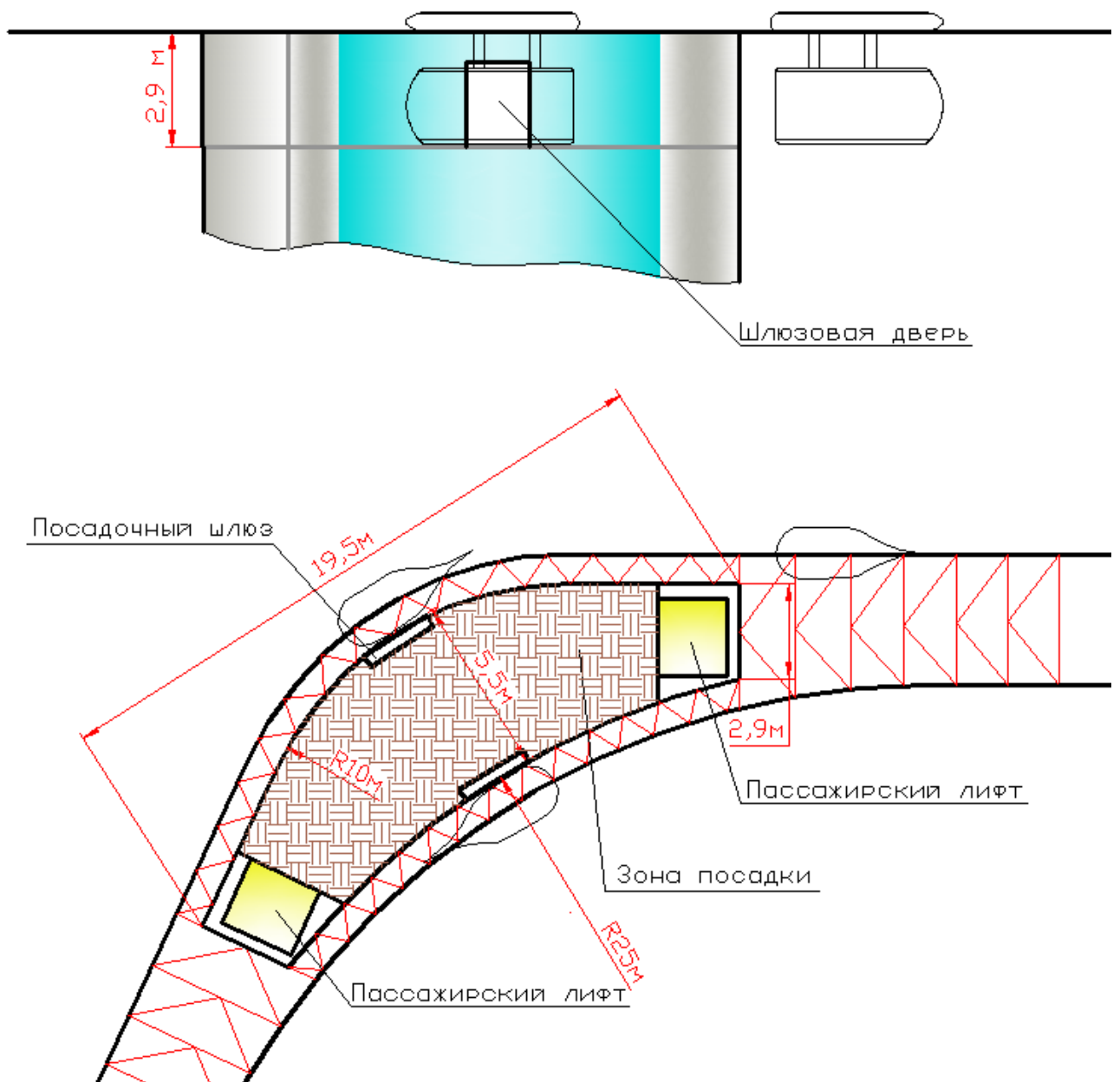


Рис. 3.4. Предварительное эскизное решение станции «Международная»

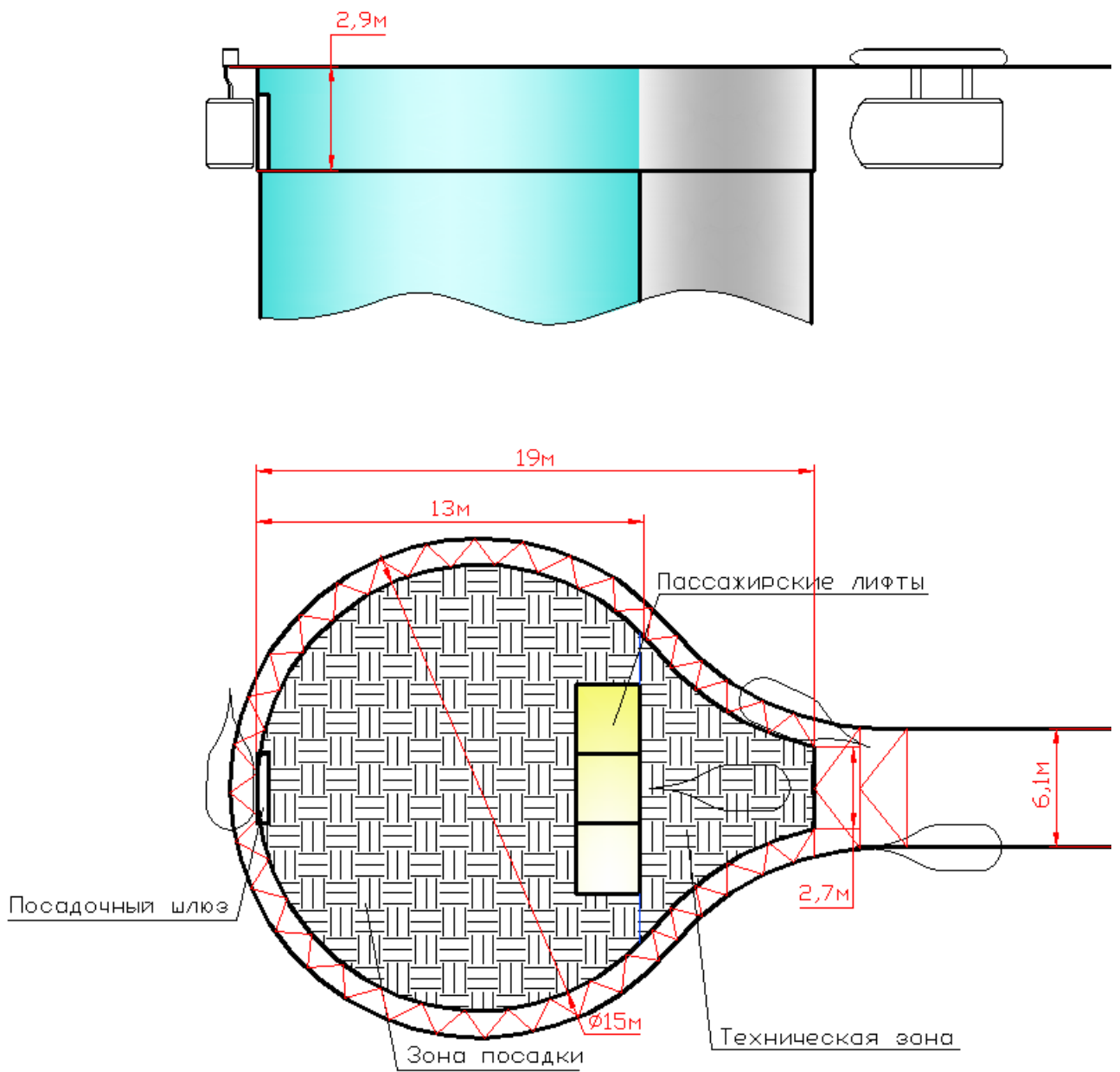


Рис. 3.5. Предварительное эскизное решение конечных станций «Федерация» и «Плаза»

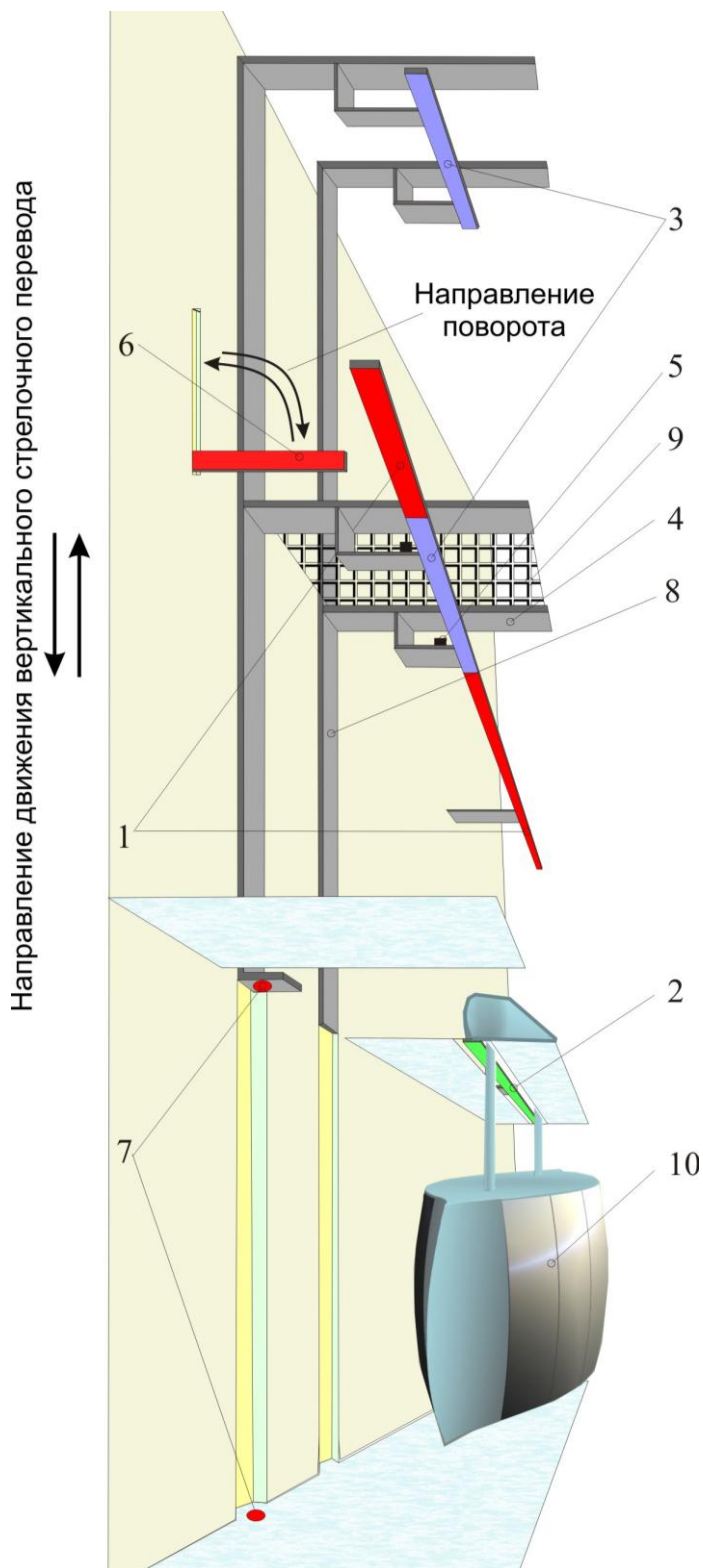


Рис. 3.6. Схема вертикального стрелочного перевода моноСТЮ:

- 1 — главный путь; 2 — вспомогательный путь; 3 — отрезок рельса площадки стрелочного перевода;
 4 — вертикальный стрелочный перевод; 5 — механические фиксаторы колес юнибуса; 6 — упор, предохраняющий съезд с главного пути во время работы стрелки;
 7 — датчики фиксации положения стрелочного перевода; 8 — вертикальные направляющие;
 9 — защитная площадка; 10 — подвесной трамвай, перемещённый на нижний уровень

4. Преимущества рельса-струны в сравнении с традиционными и перспективными путевыми системами

Конструкция рельсо-струнной путевой структуры моноСТЮ является разновидностью висячих и вантовых мостов с «провисающей» предварительно напряженной вантой, зашитой в балку жёсткости, которая одновременно является рельсовым ездовым полотном для подвесных трамваев.

Путевая структура моноСТЮ включает в свою конструкцию те же основные элементы, что и висячие мосты: размещённый с провисом на пролёте предварительно напряжённый растянутый элемент — витой или невитой канат (струна), балка жёсткости (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, рельсо-струнная путевая структура моноСТЮ полностью лишена их недостатков благодаря тому, что предварительно напряжённый элемент (струна) «зашит» в компактную балку жёсткости, образуя с ней основной конструктивный элемент путевой структуры — прочный, жёсткий 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 5×8 см), что позволяет перекрывать большие пролёты (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 нём является монорельсовым с подвесным трамваем, который изначально, как и канатные дороги, не может потерять поперечную устойчивость.

Максимальное натяжение струн на один рельс в моноСТЮ (в зависимости от длины пролёта и массы подвижного состава) — 50—250 тонн (при температуре +20 °С).

Рельс-струна сочетает в себе свойства гибкой нити (на большом пролёте между опорами) и жёсткой балки (на малом пролёте — под колесом трамвая и над опорой), поэтому при воздействии сосредоточенной нагрузки от колеса вертикальный радиус кривизны (изгиба) рельса составляет 100 м и более. При этом траектория движения колеса и, соответственно, трамвая на пролёте (по вогнутой кривой) имеет вертикальные радиусы кривизны, превышающие 1000 м. Над опорой трамвай движется по выпуклой кривой, имеющей радиус 100—500 м и более (в зависимости от расчётной скорости движения задаётся требуемый радиус седла на опоре). Благодаря этому качение колеса подвесного трамвая будет плавным, безударным, как в пролёте, так и над каждой опорой.

Рельс-струна характеризуется высокой прочностью, изгибной и крутильной жёсткостью, ровностью, технологичностью изготовления и монтажа, низкой материалоемкостью (сталь: 10—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 плеть).

Общий вид (сбоку) оптимизированной конструкции рельса-струны моноСТЮ, рекомендуемого к использованию в городской застройке для пролётов длиной 200—500 м и для массы трамвая до 4 т, показан на рис. 4.1. Поперечные сечения рельса-струны (А-А, Б-Б и В-В на рис. 4.1) показаны на рис. 4.2 в масштабе 1:1.

Минимальная величина предварительного натяжения корпуса рельса — 40 тс, струны — 40 тс (при температуре +55 °С — температуре нагрева путевой структуры на солнце), масса рельса-струны — 11,5 кг/м.

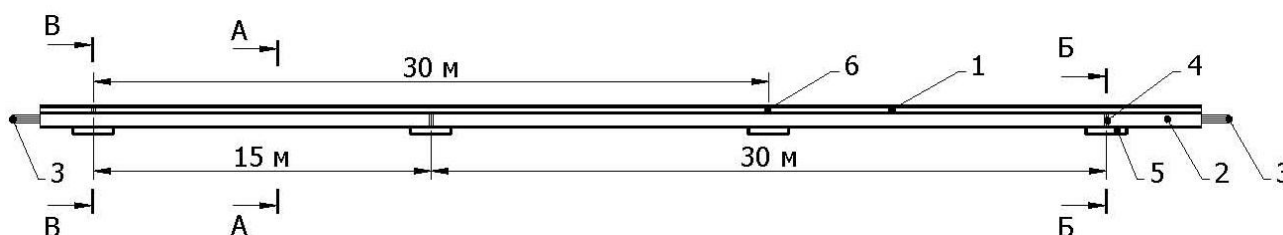


Рис. 4.1. Общий вид (сбоку) рельса-струны:

- 1 — головка рельса; 2 — корпус рельса; 3 — струна; 4 — поперечный сварной шов в корпусе рельса;
5 — накладка; 6 — поперечный сварной шов в головке

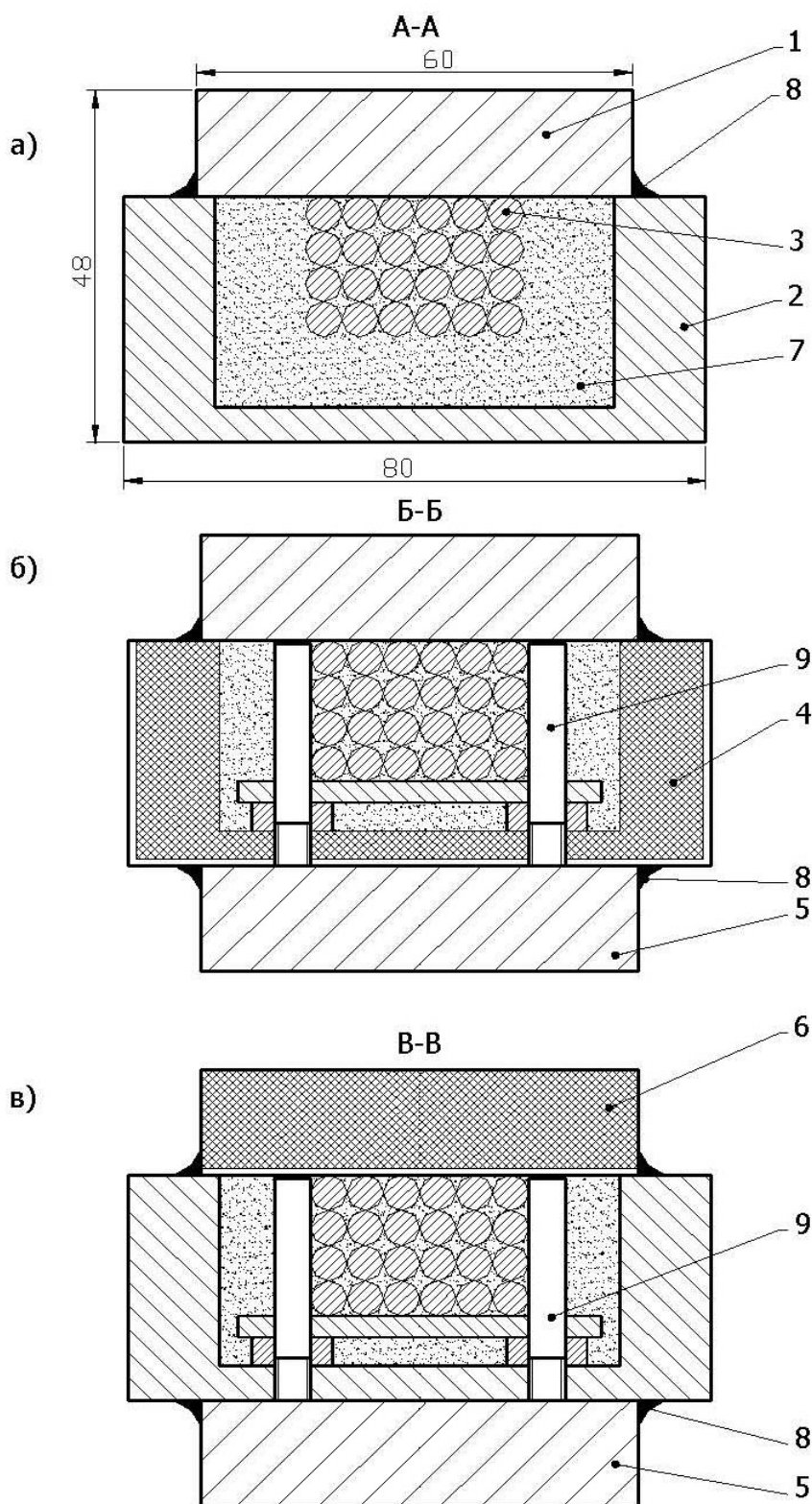


Рис. 4.2. Поперечные разрезы рельса-струны (масштаб 1:1):

- а) поперечный разрез А-А; б) поперечный разрез Б-Б; в) поперечный разрез В-В;
 1 — головка рельса из высокопрочного алюминиевого сплава; 2 — корпус рельса из высокопрочного алюминиевого сплава; 3 — струна (24 высокопрочные стальные арматурные проволоки диаметром 5 мм); 4 — поперечный сварной шов в корпусе рельса; 5 — накладка; 6 — поперечный сварной шов в головке рельса; 7 — композит (на основе эпоксидной смолы); 8 — продольный сварной шов; 9 — фиксатор струны

Струна 3 (см. рис. 4.2) состоит из отдельных предварительно натянутых высокопрочных (прочность на разрыв 19000—20000 кгс/см²) стальных проволок диаметром 5 мм (или 3 мм), размещённых 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 напряжённо-деформированного состояния остальных напряжённых элементов рельса. Благодаря такой особенности и тому, что напряжения в размещенной с относительно небольшим провисом струне (меньше, чем в канатах висячих мостов и канатных дорог) практически одинаковы при наличии или отсутствии подвижной нагрузки на пролёте (напряжения в струне при воздействии расчётной подвижной нагрузки увеличиваются лишь на 3—5%), струна может быть предварительно натянута до достаточно высоких значений — до 60—75% от предела прочности.

Описанная особенность моноСТЮ позволяет исключить температурные деформационные швы по длине путевой структуры (так же, как их нет, например, в телефонных линиях связи или линиях электропередач). Однако это приведёт к сезонному изменению напряжений в её растянутых элементах (относительно средней расчётной температуры +10 °С) — к увеличению их зимой (на 400—600 кгс/см² при –35 °С) и снижению летом (на 400—600 кгс/см² при +55 °С, в результате нагрева рельса на солнце). Поэтому максимальные значения прогиба струны 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 подъём (зимой) и провис (летом) путевой структуры составят величину порядка 1/500—1/800 от длины пролёта (или 0,3—0,5 м при длине пролёта 200—250 м).

Основные технические характеристики рельсо-струнной путевой структуры моноСТЮ с различными длинами пролётов представлены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Основные технические характеристики путевой структуры моноСТЮ в зависимости от длины пролёта

Длина пролёта, м	Масса рельса-струны, кг/м (т/км)	Усилие натяжения в рельсе-струне, тс	Провис рельса-струны в центре пролёта (при температуре пути +55 °С), м			Дополнительная скорость** движения трамвая в центре пролёта, км/ч	
			Под действием собственного веса	Под нагрузкой 4 тс (вес трамвая)	Общий провис в центре пролета	Максимальная (в центре пролёта)	Средняя на пролёте
100	11,5*	80*	0,18	1,25	1,43	19,1	15
200	11,5*	80*	0,72	2,50	3,32	29,1	23
300	11,5*	80*	1,62	3,75	5,37	37,0	29
400	11,5*	80*	2,88	5,00	7,88	44,8	35
500	11,5*	80*	4,49	6,25	10,74	52,2	41

* для пролётов 100—500 м конструкция рельса-струны принята одинаковой с целью унификации и упрощения технологии его монтажа на всех пролётах трассы

** имеется ввиду скорость, обусловленная только скатыванием трамвая под действием силы тяжести на нисходящей (по ходу движения) части пролёта; к этой скорости будет добавляться также скорость, обеспечиваемая приводом подвесного трамвая

Из данных, приведённых в табл. 4.1, следует, что провис рельсо-струнного пути на пролёте можно использовать для снижения мощности привода подвесного трамвая и увеличения средней скорости его движения. На нисходящей части пролёта трамвай будет плавно разгоняться (ускорение 0,5—0,1 м/с²), а на восходящей — плавно тормозиться. Поэтому, если длина пролёта моноСТЮ будет равна расстоянию между смежными станциями, то в штатном режиме движения подвесному трамваю вообще не нужны будут двигатель и тормоза — их заменит гравитация. Привод понадобится лишь для компенсации аэродинамических потерь и потерь на сопротивление качению стального колеса (1—2 кВт), а тормоза — только как стояночные, для фиксации положения трамвая на станции. Если же в промежутке между соседними станциями будет установлены несколько поддерживающих опор, то их высота может постепенно снижаться к середине указанного промежутка, что также

даст вышеописанный эффект. В любом случае, при проектировании трассы моноСТЮ «Федерация — Плаза» данный эффект будет использован для повышения эффективности транспортной системы «второго уровня».

Рельсо-струнная 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 учётом основных положений мостовых норм США и ЕС, поэтому не требуют сертификации. При этом для эстакады моноСТЮ используются только серийно выпускаемые и сертифицированные составные элементы: высокопрочная арматурная стальная проволока, прокат, эпоксидная смола, цемент, арматура и т.п.

Для каждой спроектированной рельсо-струнной трассы, как и для любого транспортного сооружения, необходимы согласования и 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 пролёте под колёсной нагрузкой не только не приводит к появлению неровностей пути, но и является штатным для обеспечения требуемого перепада высот между смежными станциями и серединой промежутка между ними, без чего нельзя получить требуемую высокую скорость движения в городском цикле (с частыми остановками), не используя мощный двигатель в транспортном средстве.

Для увеличения несущей способности путевой структуры, а также для повышения устойчивости подвесного трамвая при воздействии боковых нагрузок (боковой ветер, неравномерности загрузки салона трамвая пассажирами и др.), каждый путь на трассе «Федерация — Плаза» предлагается выполнить двухрельсовым. Каждый путь такой трассы будет выполнен из двух рельсов-струн, показанных на рис. 4.1 и 4.2, установленных на расстоянии 1 м друг от друга.

5. Преимущества подвесного трамвая перед традиционными и перспективными транспортными средствами

Коэффициент сопротивления качению стального колеса с цилиндрическим опиранием по стальному же 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 традиционном железнодорожном транспорте (там коническое опирание у колёс колесной пары), в 20—30 раз лучше, чем у пневмошины автобуса или троллейбуса и в 500 раз лучше электродинамического подвеса поезда «Трансрапид», Германия, энергетический КПД которого менее 50%. Поэтому, например, при скорости 100 км/час 4-х тонному подвесному трамваю на преодоление сопротивления качению колёс необходима мощность привода 1,1 кВт против 2,2 кВт у железной дороги и 35 кВт у автобуса. За 20-ти летний срок службы подвесного трамвая это даст экономию топлива по сравнению с автобусом в 900 тыс. литров, или примерно 20 млн. руб.

Коэффициент аэродинамического сопротивления у трамвая моноСТЮ, определённый экспериментально и минимизированный в результате многократных продувок моделей в аэродинамической трубе ЦНИИ им академика Крылова в г. С.-Петербурге, равен 0,1 (у традиционного автобуса — 0,6). За 20-ти летний срок службы подвесного трамвая это даст экономию топлива по сравнению с автобусом (скорость движения 100 км/час) в 800 тыс. литров, или около 18 млн. руб. (экономию мощности двигателя, расходуемой на аэродинамическое сопротивление, составит 33 кВт).

У спроектированного ООО «СТЮ» подвесного трамвая моноСТЮ модели Ю-422П, вместимостью 40 пассажиров, сухая масса (без пассажиров) составляет около 2000 кг, а с пассажирами — 5000 кг, или 50 кг массы конструкций на одного пассажира (у автобуса 150—200 кг/пасс.). В моноСТЮ разгон модуля на первой половине перегона осуществляет гравитация, поэтому его масса не имеет значения и двигатель ему для этого не нужен (он сам разгоняется «с горки»), а на второй половине перегона гравитация же модуль тормозит (он сам теряет скорость при движении «в горку»), поэтому тормоза ему для этого также не нужны.

У автобуса разгон на перегоне между остановками осуществляется двигателем, а торможение — тормозами, поэтому вся кинетическая энергия тяжелого разогнанного автобуса выбрасывается в окружающую среду в виде тепла, шума, частиц износа тормозных колодок, резиновых шин и асфальтобетонного покрытия. У подвесного же трамвая моноСТЮ на первой половине перегона его потенциальная энергия нахождения на первой станции переходит в кинетическую энергию скоростного движения на перегоне и затем — в потенциальную энергию нахождения на второй станции (аналог — качели).

Эти преобразования энергий происходят с помощью гравитации по законам физики и имеют предельно возможный КПД, равный 100%, который не может быть достигнут с помощью каких-либо технических устройств (как это пытаются осуществить разработчики в традиционных автобусах с помощью рекуператоров, преобразователей или накопителей энергии) и поэтому в принципе не могут быть улучшены в будущем. Поэтому можно утверждать, что по энергетической эффективности подвесной трамвай моноСТЮ является самым экономичным транспортным средством в мире и будет оставаться таковым и в будущем.

Поскольку городской автобус имеет по сравнению с трамваем моноСТЮ избыточную мощность примерно в 70 кВт, необходимую ему для быстрого разгона на перегоне между соседними остановками, то экономия топлива за 20 лет по этому показателю у одного трамвая составит 1,8 млн. литров стоимостью около 40 млн. руб.

Таким образом, за срок службы в 20 лет общая экономия топлива $\mathcal{E}_{\text{топл.}}$ одним подвесным трамваем по сравнению с традиционными автобусами (по суточной провозной способности один подвесной трамвай заменит несколько городских автобусов) составит:

$$\mathcal{E}_{\text{топл.}} = \mathcal{E}_{\text{движ.}} + \mathcal{E}_{\text{аэрод.}} + \mathcal{E}_{\text{инерц.}} = 900.000 + 800.000 + 1.800.000 = 3.500.000 \text{ литров}$$

(стоимость этого топлива составит около 80 млн. руб.),

где:

- $\mathcal{E}_{\text{движ.}} = 900.000$ л — экономия за счёт уменьшения потерь в двигателе (за счёт стальных колёс с цилиндрическим опиранием на стальной же рельс);
- $\mathcal{E}_{\text{аэрод.}} = 800.000$ л — экономия за счёт уменьшения аэродинамического сопротивления подвижного состава (за счёт уникальных аэродинамических качеств корпуса подвесного трамвая);
- $\mathcal{E}_{\text{инерц.}} = 1.800.000$ л — экономия за счёт привлечения сил гравитации для разгона и торможения подвижного состава на перегоне между соседними станциями, а также за счёт уменьшения удельной массы модуля, приходящейся на одного пассажира.

Потребная мощность привода, необходимая для движения подвесного трамвая на пролёте, 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 потребная мощность будет возрастать от нуля на станции до максимума в середине пролёта и может подводиться к колёсам трамвая либо по этой же зависимости, либо в виде постоянного значения, усредненного для пролёта. Средняя потребная мощность, необходимая на перегоне, в зависимости от длины пролёта и максимальной скорости движения, составит для одного 40-местного трамвая 3—5 кВт, против 100—150 кВт для автобусов такой же вместимости и для таких же скоростей движения (60—100 км/час), поэтому в 20—30 и более раз подвесной трамвай моноСТЮ будет эффективнее, экономичнее и экологичнее традиционного городского автобуса.

Конструктивные особенности 44-х местного подвесного трамвая с накопителями электрической энергии (для неэлектрифицированной линии однорельсового моноСТЮ) показаны на рис. 5.1, а различные варианты заполнения его салона пассажирами — на рис. 5.2.

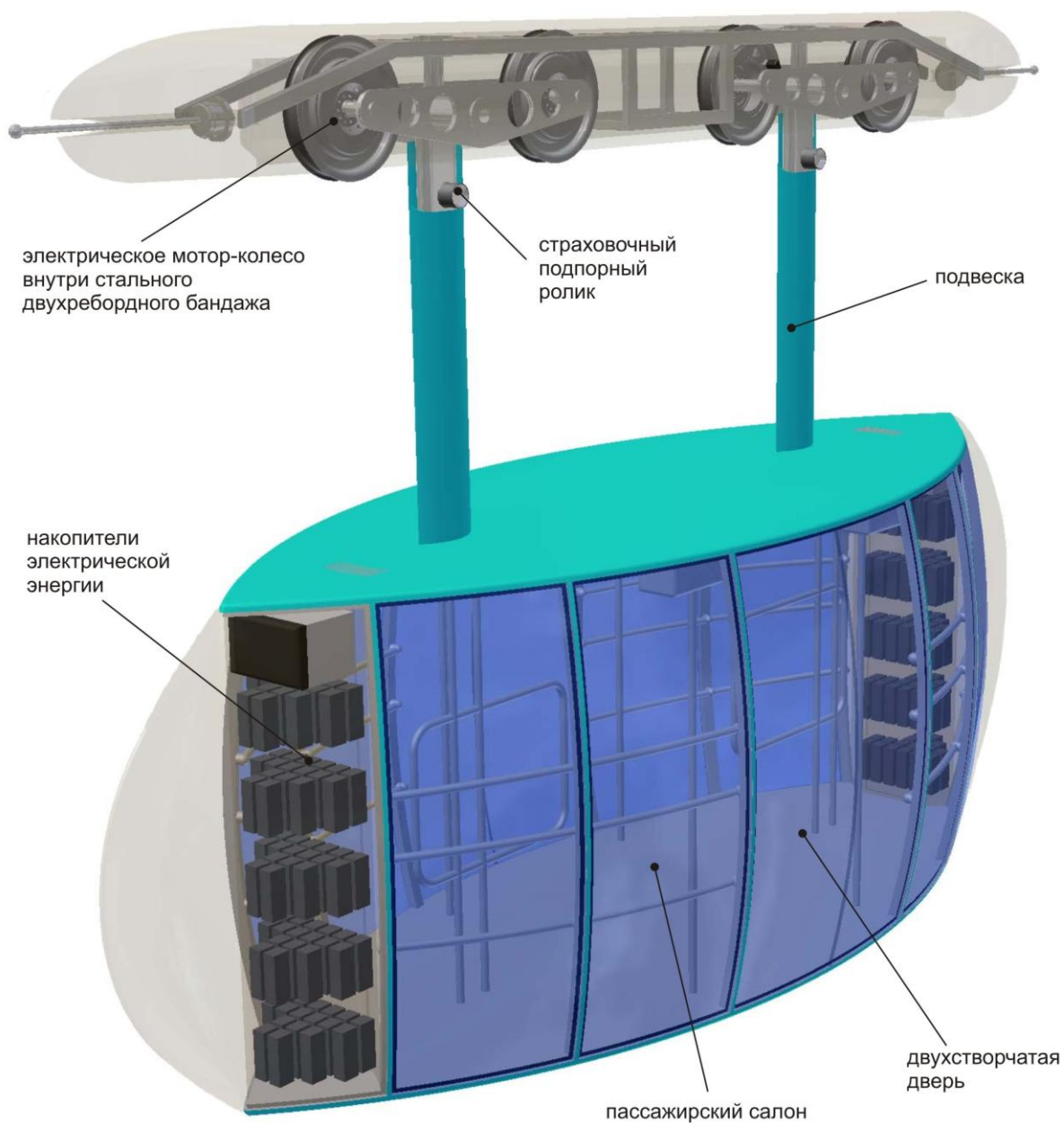
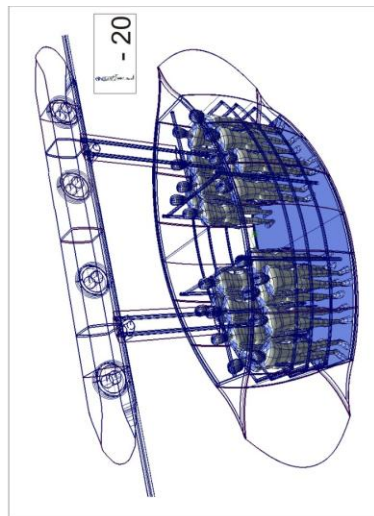
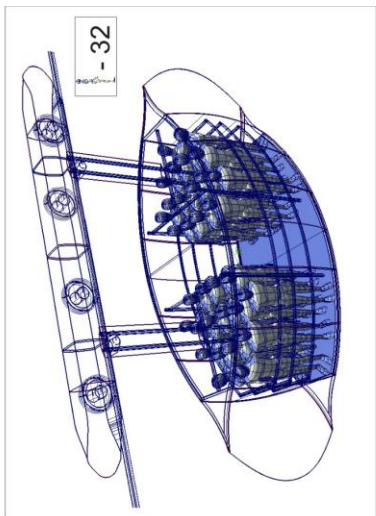
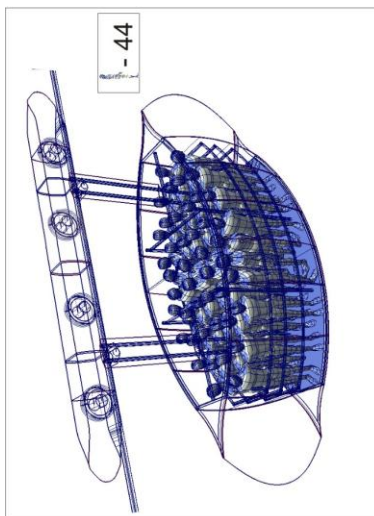
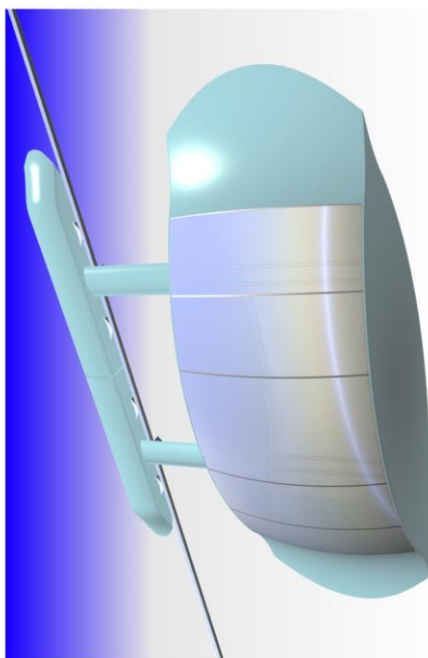
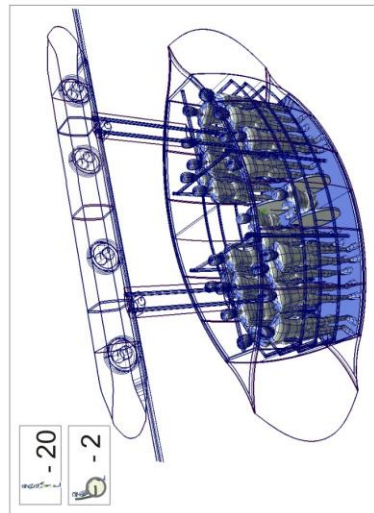
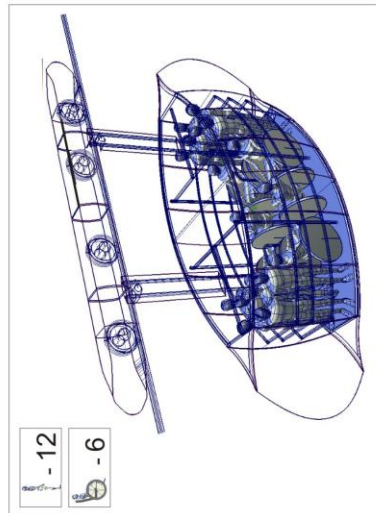
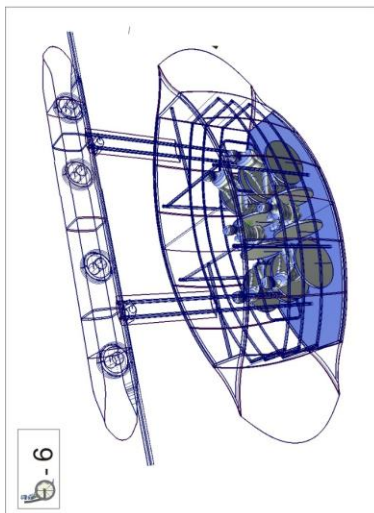


Рис. 5.1. Конструктивная схема подвесного трамвая вместимостью 44 пассажира, снабжённого накопителями электрической энергии

Для короткой трассы, когда время в пути составит 2—3 минуты, нецелесообразно устанавливать в салоне трамвая сиденья (как их, например, нет в традиционном лифте), поэтому на рис. 5.2. показана заполняемость салона только стоячими пассажирами.

Подвесной трамвай Ю-422П



- КОЛИЧЕСТВО СТОЯЧИХ МЕСТ
- КОЛИЧЕСТВО МЕСТ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ

Рис. 5.2. Варианты заполнения салона подвесного трамвая Ю-422П пассажирами

6. Подвижной состав MIRAX LRS

Подвижной состав автоматической транспортной системы моноСТЮ на маршруте «Миракс Федерация — станция метро «Международная» — Миракс Плаза» будет сформирован на базе подвесных трамваев пассажировместимостью 56 пассажиров. Трамвай будет подвешен к двухрельсовому пути.

6.1. Технические характеристики и краткое описание подвесного трамвая MIRAX LRS

Внешний вид подвесного двухрельсового трамвая MIRAX LRS представлен на рис. 6.1. Технические характеристики и краткое описание трамвая приведены в табл. 6.1, а его компоновка показана на рис. 6.2.

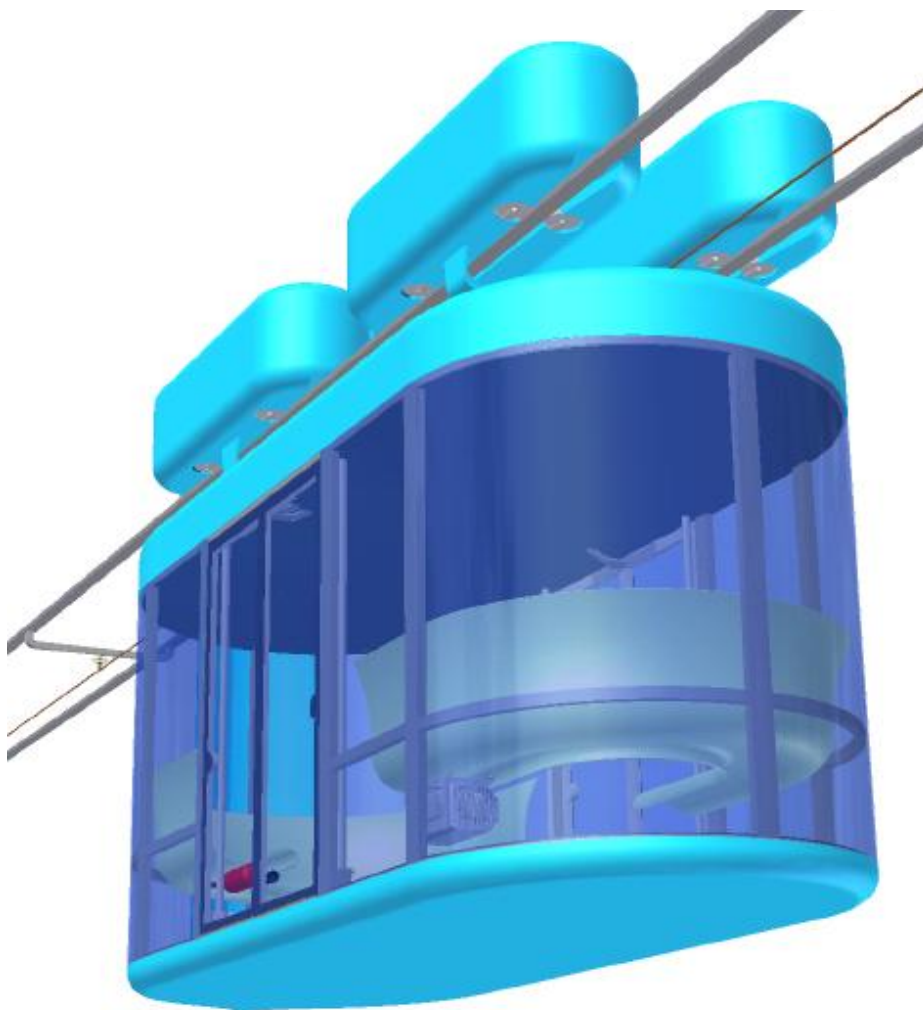


Рис. 6.1. Внешний вид подвесного трамвая MIRAX LRS

Таблица 6.1

Технические характеристики подвесного трамвая MIRAX LRS

№	Наименование характеристики	Значение характеристики
1	Число пассажирских мест (при норме площади на одного стоящего пассажира 0,125 м ² по предписанию ЕЭК ООН №52)	56 (из них 14 для сидения)
2	Снаряжённая масса, кг	3900
3	Максимальная масса, кг	7800
4	Габаритные размеры, мм: - длина - ширина - высота - база - колея	5500 2000 3470 2600 1000
5	Минимальный радиус поворота, м	7
6	Установленная мощность привода (4 электродвигателя мощностью 40 кВт каждый), кВт	160
7	Средняя мощность, развиваемая приводом трамвая на перегоне, кВт	9,8
8	Максимальная скорость при движении с максимальной нагрузкой при номинальном напряжении контактной сети на горизонтальном участке, км/час, не менее	65
9	Максимальное служебное ускорение при разгоне и торможении, м/с ²	1,0
10	Время разгона трамвая с максимальной массой до скорости 51 км/ч при номинальном напряжении контактной сети на горизонтальном участке, сек., не более	15
11	Длина тормозного пути с максимальной нагрузкой (начальная скорость 40 км/час), м, не более: - при служебном торможении - при экстренном торможении	60 30
12	Скорость изменения ускорения при пуске и служебном торможении, м/с ³ , не более	0,5

№	Наименование характеристики	Значение характеристики
13	Средняя температура воздуха в салоне при температуре наружного воздуха, °С: - минус 40, °С, не менее - плюс 40, °С, не более	10 25
14	Энергопотребление при температуре наружного воздуха минус 40 °С (при максимальной массе трамвая, расстоянии между станциями 550 м, ускорении 1 м/с ² , скорости движения 51 км/ч и рекуперативном торможении с замедлением 1 м/с ²): - абсолютная величина, кВт×час - удельная величина, Вт×час/пасс.×км	0,18 5,7
15	Энергопотребление при температуре наружного воздуха плюс 40 °С (при максимальной массе трамвая, расстоянии между станциями 550 м, ускорении 1 м/с ² , скорости движения 51 км/ч и рекуперативном торможении с замедлением 1 м/с ²): - абсолютная величина, кВт×час - удельная величина, Вт×час/пасс.×км	0,39 12,5
16	Колёсная формула	4 × 4
17	Количество дверей	2
18	Характеристика агрегатов и систем	
18.1	Корпус	сварной каркас из высокопрочного алюминиевого сплава, облицованный пластиком
18.2	Оборудование салона	Служебная дверь, запасная дверь, сидения, поручни. Освещение салона. Обогрев и кондиционирование воздуха в салоне. Огнетушитель. Включатель экстренного торможения. Связь с ЦДС. Аптечка. Информационное табло.

№	Наименование характеристики	Значение характеристики
18.3	Ходовая система: - подвеска - направляющее устройство	независимая, на продольных рычагах 16 боковых колёс, контактирующих с боковыми дорожками качения головок рельсов (по 4 колеса на одну ходовую тележку)
18.4	Тормозная система: - служебная - стояночная (аварийная)	электродинамическая электромеханическая
18.5	Тормозные механизмы	дисковые
18.6	Система управления движением	автоматическая
18.7	Силовой электропривод	трехфазные асинхронные электродвигатели, тяговые преобразователи
18.8	Электрооборудование	24 В, двухпроводное
18.9	Тяговое электропитание	внешняя сеть с номинальным напряжением 600 В постоянного тока
18.10	Система отопления воздуха салона	отопитель электрический
18.11	Система охлаждения воздуха салона	кондиционер
18.12	Система пожаротушения силовых отсеков	автоматическая, генераторы огнетушащего аэрозоля
18.13	Устройство сцепное	автоматическое с фрикционным энергогасителем удара
18.14	Система эвакуации пассажиров	буксировка на станцию; тросовый эвакуатор альпинистского типа для спуска пассажиров на землю; специальные мероприятия с использованием вертолётa

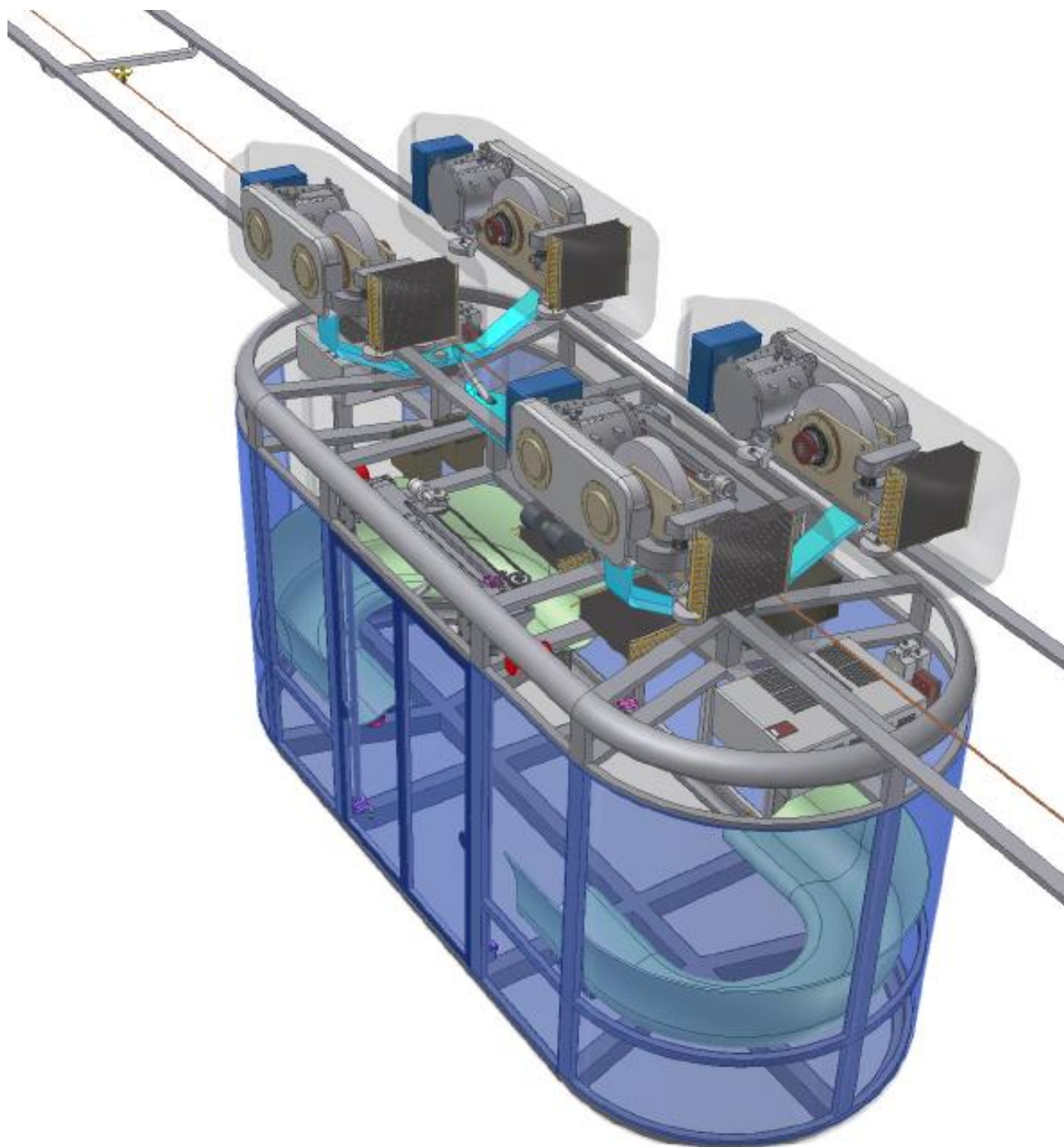


Рис. 6.2. Компоновка подвесного трамвая MIRAX LRS (вид сверху)

На рис. 6.3 и 6.4 представлены соответственно габаритный чертёж и чертёж общего вида подвесного трамвая MIRAX LRS.

6.2. Краткий обзор технических решений, заложенных в конструкцию подвесного трамвая MIRAX LRS и их обоснование

В конструкцию подвесного трамвая закладываются технические решения, нацеленные на обеспечение основных требований, предъявляемых к городскому транспорту:

- высокая надёжность и безопасность движения;
- минимизация энергопотребления;
- предоставление комфортных условий для пассажиров;
- достаточная провозная способность;
- соблюдение экологических требований.

Наряду с современными решениями, не нуждающимися в специальном обосновании, такими, как, например, транзисторная система управления тяговыми двигателями, использование в конструкции корпуса кузова легких сплавов и высокопрочного пластика, в подвесном трамвае MIRAX LRS реализованы также общеизвестные, но весьма значимые по эффекту, технические решения:

- качение металлического колеса цилиндрической формы по плоскому металлическому рельсу с линейным контактом;
- высокая аэродинамичность внешних форм кузова.

В той или иной степени эти решения реализованы в существующих транспортных системах, но до сих пор создано немного конструкций, где они объединены. Так, например, качение металлического колеса цилиндрической формы по металлическому полотну используется в подвесных трамваях немецкого города Вупперталя (см. рис. 6.5).

Однако, как видно из рис. 6.5, подвесной трамвай Вупперталя не отличается хорошей аэродинамикой кузова, его ходовые тележки даже не снабжены обтекателями. Можно добавить, что подвесной трамвай MIRAX LRS выгодно отличается конструкцией направляющего (противосходного) устройства, где традиционные реборды опорных колёс заменены боковыми направляющими колёсами, контактирующими с боковыми дорожками качения головок рельсов.

Подвижной состав опытной транспортной системы ULTra (см. рис. 6.6) имеет относительно неплохие аэродинамические формы кузова. Однако качение

пневматической шины колеса таких рельсовых автомобилей по бетонному полотну значительно снижает положительный эффект от этого качества.



Рис. 6.5. Подвесной трамвай в немецком городе Вупперталь



Рис. 6.6. Автоматическая транспортная система ULTra (испытательный полигон Advanced, Англия)

В табл. 6.2 приведены исходные данные и расчётные значения удельного энергопотребления на движение подвижного состава трех транспортных систем: автоматической транспортной системы PRT (г. Моргантаун, США, см. рис. 6.7), автоматической транспортной системы H-bahn (г. Дортмунд, Германия, см. рис. 6.8) и автоматической транспортной системы MIRAX LRS.

Таблица 6.2

Исходные данные и расчётные значения удельного энергопотребления
(режим равномерного движения без учёта энергозатрат на обеспечение комфорта —
поддержание комфортной температуры в салоне, освещение и др.)

Параметр	Транспортная система		
	PRT	H-bahn	MIRAX LRS
Масса транспортного средства с полной загрузкой, кг	5700	12000	7800
Мидель, м ²	4,8	7,5	5,6
Коэффициент лобового аэродинамического сопротивления	0,4	0,4	0,1
Коэффициент сопротивления качению колёс	0,013	0,010	0,001
Пассажировместимость, чел.	21	45	56
Расчётная скорость движения, км/час	51		
Удельное энергопотребление, Вт×ч/пасс.×км	12,7	9,5	0,9



Рис. 6.7. Автоматическая транспортная система PRT (г. Моргантаун, США)



Рис. 6.8. Автоматическая транспортная система H-Bahn (г. Дортмунд, Германия)

Расчётные значения удельного энергопотребления, приведённые в табл. 6.2, наглядно показывают обоснованность реализации указанных технических решений (качение металлического колеса цилиндрической формы по плоской головке рельса и высокая аэродинамичность внешних форм кузова) в подвесном трамвае MIRAX LRS: энергозатраты при эксплуатации снижаются в десять раз и более. Это, в свою очередь, снизит на порядок вредные экологические последствия, связанные с обеспечением выработки, преобразования и передачи электроэнергии, необходимой для эксплуатации транспортной системы.

6.3. Калькуляция отпускной цены подвесного трамвая MIRAX LRS

Ориентировочная цена подвесного трамвая определена исходя из условий мелкосерийного производства в условиях Республики Беларусь на предприятиях «Дорэлектромаш» и ПО «БелавтоМАЗ», а также стоимости основных покупных узлов, массы изделия и изучения потребностей рынка (см. табл. 6.3).

Таблица 6.3

Ориентировочная отпускная цена подвесного трамвая MIRAX LRS

№	Наименование статей затрат	Сумма, руб.
1	Сырье и материалы	924 443
2	Покупные комплектующие изделия, полуфабрикаты и услуги производственного характера	7 377 600
3	Транспортно-заготовительные расходы	234 292
	Итого материальных затрат	8 536 335
4	Основная зарплата производственных рабочих	2 134 084
5	Дополнительная зарплата производственных рабочих	170 727
6	Отчисления на социальное страхование	806 684
7	Отчисления на обязательное страхование	46 096
8	Общепроизводственные расходы	3 499 898
9	Общехозяйственные расходы	3 051 740
10	Износ инструментов и приспособлений целевого назначения и прочие специальные расходы, всего	2 390 174
10.1	в том числе: износ специальной модельной оснастки	1 338 497
11	Инновационный фонд	622 803
	Итого производственная себестоимость	21 258 541
12	Внепроизводственные расходы	63 776
	Итого полная себестоимость	21 322 317
13	Прибыль (15%)	3 198 348
	Итого оптовая цена	24 520 665
14	Налоги, сборы и отчисления из выручки (5%)	758 371
	Итого отпускная цена	25 279 036

Исходя из расхода материалов и покупных изделий, необходимых для производства подвесного трамвая, а также их ориентировочной стоимости, сумма материальных затрат на изготовление единицы изделия составит 8 536 335 руб., в том числе транспортно-заготовительные расходы — 234 292 руб. Большая доля затрат — 7 377 600 руб. — приходится на покупные изделия: тяговые преобразователи, тяговые электродвигатели, элементы автоматической системы управления движением,

автоматические двери с механизмом открывания, систему кондиционирования, тормозную систему с электронной системой управления, детали облицовки и др.

Расшифровка материальных затрат представлена в табл. 6.4.

Таблица 6.4

Расшифровка материальных затрат для производства одного подвесного трамвая

№	Наименование калькуляционных групп	сумма, руб.
Сырье и материалы		
1	Профилированный алюминиевый сплав	472 176
2	Лакокрасочные материалы	12 300
3	Прочие материалы	439 967
3.1	в том числе: высокопрочный поликарбонат	376 350
ИТОГО сырья и материалов		924 443
Покупные изделия		
4	Тяговый электропривод	5 145 600
5	Оборудование пассажирского салона	1 608 000
6	Управляющие системы	384 000
7	Прочие комплектующие узлы	240 000
ИТОГО покупные изделия		7 377 600
ИТОГО материальных затрат:		8 289 743
Транспортно-заготовительные расходы		234 292
ВСЕГО материальных затрат		8 536 335

Заработная плата производственных рабочих определена исходя из трудоемкости изготовления и сборки основных узлов, агрегатов и элементов изделия.

Накладные расходы включают в себя расходы общепроизводственного характера, расходы на разработку конструкторской документации и на административно-управленческие нужды, а также — на износ специальной оснастки, необходимой для изготовления наружной высокоаэродинамичной облицовки корпуса.

В табл. 6.5 представлена смета накладных расходов на единицу изделия.

Таблица 6.5

Смета накладных расходов производства одного подвесного трамвая MIRAX LRS

Статьи расходов	Сумма, руб.
<i>Общехозяйственные расходы</i>	
Затраты на оплату аппарата управления	1 815 785
в том числе: заработная плата разработчиков конструкторской документации	1 180 260
Прочие расходы	1 235 955
Всего общехозяйственных расходов	3 051 740
<i>Общепроизводственные расходы</i>	
Содержание административно-управленческого персонала	552 984
Содержание прочего персонала	174 995
Содержание оборудования	419 988
Текущий ремонт оборудования	188 994
Возмещение износа малоценных быстро изнашиваемых инструментов	640 481
Содержание зданий	475 986
Амортизация оборудования	563 484
Прочие расходы	482 986
Всего общепроизводственных расходов	3 499 898
<i>Износ инструмента и приспособлений целевого назначения и прочие специальные расходы</i>	
в том числе: износ специальной модельной оснастки	1 338 497
Всего накладных расходов	8 941 812

Таким образом, ориентировочная отпускная цена подвесного трамвая MIRAX LRS с автоматической системой управления в мелкосерийном производстве в Республике Беларусь составит 25 279 036 руб. Цена подлежит уточнению после подготовки производства и изготовления опытного образца.

7. Гараж-парк

Как и любая другая транспортная система, MIRAX LRS требует периодического обслуживания и ремонта её составных элементов, таких как подвесной трамвай, путевая структура, контактная сеть и др. Для выполнения этих работ предусматривается создание гаража-парка (депо). На первом этапе, когда будет построено 1—2 км трасс MIRAX LRS, на которых будут работать менее 10 подвесных трамваев, гараж-парк для них может быть совмещён с пассажирской станцией (см. рис. 3.2). В последующем, когда в г. Москве будет построена сеть дорог MIRAX LRS, необходимо будет строить отдельное депо.

Депо предназначено для хранения, обслуживания и ремонта подвесных трамваев, а также для обслуживания и ремонта рельсо-струнной путевой структуры и контактной сети.

Депо состоит из стоянки, бокса техобслуживания, бокса ремонта, участка обслуживания контактной сети, участка обслуживания основной путевой структуры и внутренней путевой структуры депо (со стрелочными переводами), лифта, складских и вспомогательных помещений и ремонтно-эвакуационного модуля.

Депо может быть расположено как на поверхности земли, так и на «втором уровне» или под землёй.

Стоянка депо предназначена для хранения подвесных трамваев.

Стоянка состоит из гаража с отдельным въездом и выездом подвижного состава.

Бокс техобслуживания предназначен для ежедневного осмотра и тестирования систем подвесных трамваев перед выходом их на линию.

Бокс техобслуживания включает в себя приборы диагностики оборудования подвесного трамвая, устройства контроля электроизоляции, стенд проверки тормозной системы и мойку.

Бокс ремонта предназначен для ремонта подвесных трамваев.

Бокс ремонта состоит из станочного парка, кранового оборудования, окрасочного участка, сварочного участка и участка ремонта электрооборудования.

На рис. 7.1 представлена схема наземного бокса ремонта.

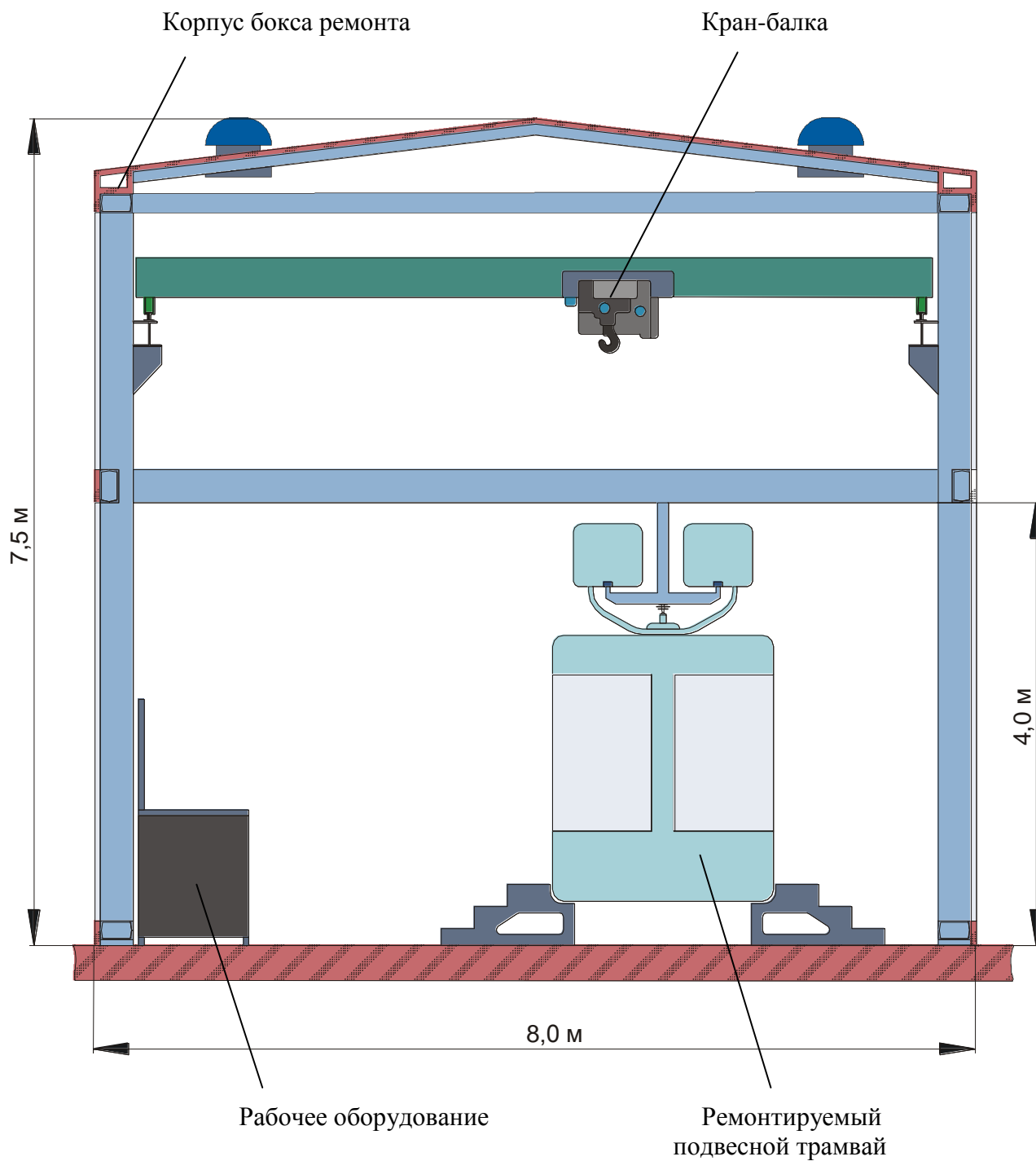


Рис. 7.1. Схема бокса ремонта подвесных трамваев
(вариант расположения бокса на поверхности земли)

Участок обслуживания контактной сети предназначен для профилактических и ремонтных работ контактной сети путевой структуры.

Участок обслуживания путевой структуры предназначен для профилактических и ремонтных работ рельсо-струнной путевой структуры и стрелочных переводов.

Путевая структура депо со стрелочными переводами предназначена для обеспечения перемещения подвесных трамваев по территории депо и ввода/вывода их на линию.

Путевая структура депо состоит из рельсо-струнного пути и стрелочных переводов, расположенных на территории депо.

Лифт предназначен для подъема/опускания подвесных трамваев на уровень путевой структуры при их вводе/выводе в эксплуатацию. При исполнении депо в подземном варианте лифт предназначается для ввода/вывода подвесных трамваев на линию.

Складские помещения предназначены для хранения расходных материалов и запасных частей.

Вспомогательные помещения предназначены для работы и отдыха персонала депо. Вспомогательные помещения включают в себя здравпункт, столовую или буфет, туалеты, комнату диспетчера и ряд других помещений.

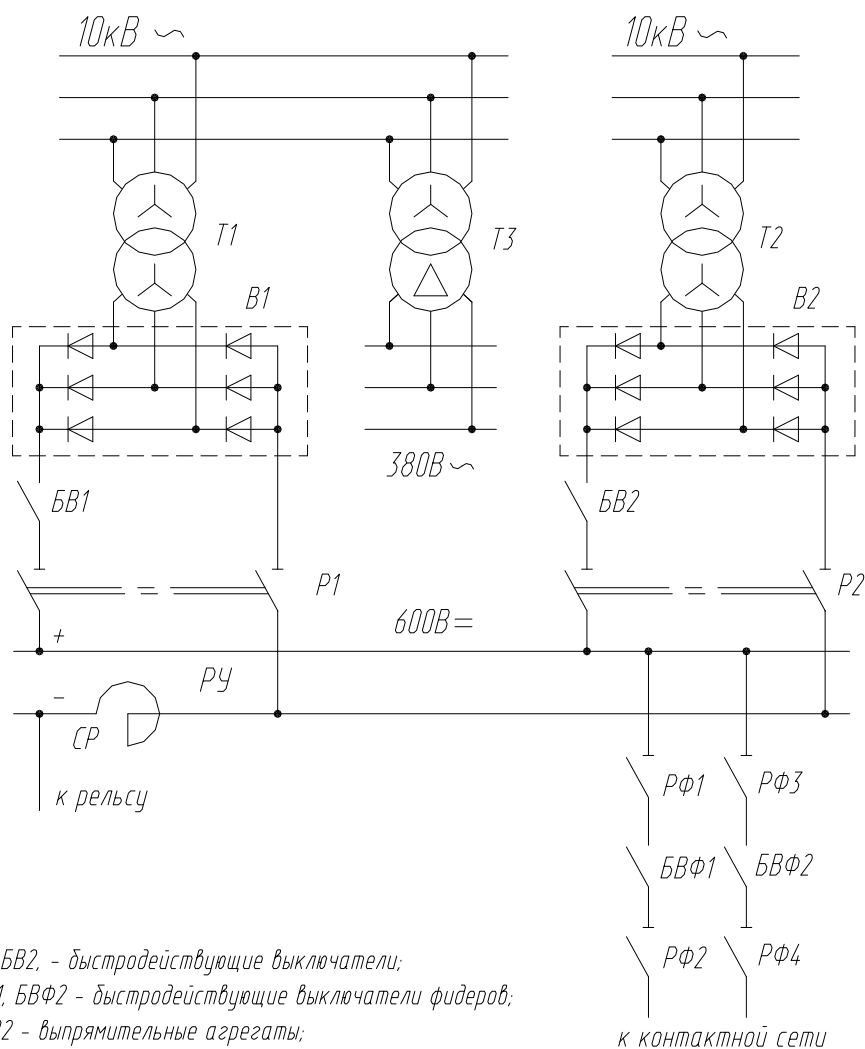
Ремонтно-эвакуационный модуль предназначен для эвакуации неисправных подвесных трамваев с линии, а также проведения профилактических и ремонтных работ рельсо-струнной путевой структуры, стрелочных переводов на линии и контактной сети.

Ремонтно-эвакуационный модуль представляет собой подвесной трамвай с расположенным на нем специальным оборудованием для проведения профилактических и ремонтных работ на линии.

Депо будет проектироваться в соответствии с требованиями СНиП 2.05.09-90.

8. Принципы энергоснабжения транспортной системы MIRAX LRS

Для обеспечения транспортной системы электроэнергией необходимы тяговопонижительные (ТПП) и понижительные подстанции (см. рис. 8.1). ТПП размещаются на станциях и предназначены для энергоснабжения подвижного состава и устройств, регулирующих его движение. Энергоснабжение ТПП осуществляется по кабельным сетям напряжением 10 кВ от трёх независимых источников питания энергосистемы города.



*БВ1, БВ2, - быстросействующие выключатели;
 БВФ1, БВФ2 - быстросействующие выключатели фидеров;
 В1, В2 - выпрямительные агрегаты;
 P1, P2 - разъединители;
 PФ1...PФ4 - разъединители фидеров;
 CP - сглаживающий реактор;
 PY - распределительное устройство;
 T1...T2 - силовые трансформаторы.*

Рис. 8.1. Схема энергоснабжения транспортной системы

ТПП оборудованы выпрямительно-инверторными агрегатами, силовая схема которых рассчитана на работу в двух режимах: выпрямления и инвертирования (преобразование постоянного тока в переменный). Силовая схема выпрямления предназначена для выдачи постоянного тока напряжением 600 В в контактную сеть транспортной системы. Силовая схема инвертирования предназначена для передачи энергии рекуперации от ТПП в систему первичного (внешнего) энергоснабжения.

ТПП будет иметь резервный агрегат, обеспечивающий надёжное энергоснабжение транспортной системы при выходе из строя наибольшего по мощности выпрямительного агрегата.

В качестве независимого источника электроснабжения для особой группы потребителей (системы контроля и управления движением, системы связи, устройства дистанционного и телеуправления электроустановками, питание компьютеров, сети аварийного освещения) предусмотрены источники бесперебойного питания, обеспечивающие питание особых нагрузок в течение одного часа.

Для бесперебойного энергоснабжения подвижного состава предусмотрена дополнительная установка на каждой станции (в техническом боксе) дизель-электрического агрегата. Мощность агрегата обеспечит возможность передвижения на линии не менее одного подвешеного трамвая.

Перерыв в электроснабжении тяговой сети допускается на время переключения питания диспетчером средствами телеуправления.

Понизительные подстанции размещаются в местах сосредоточения неответственных, второстепенных нагрузок.

На рис. 8.1 показана упрощённая схема энергопитания транспортной системы. На ней показан реактор для сглаживания пульсаций выпрямленного тока, но не показаны запасная шина и быстродействующий выключатель, с помощью которых можно заменить любой быстродействующий выключатель фидера, не прерывая энергоснабжение транспортной системы, не показаны также ряд других устройств и агрегатов.

Электрическая мощность, необходимая для нормальной работы транспортной системы, зависит от характеристик путевой структуры (уклонов, провесов пути на пролёте и др.) и количества подвешенных трамваев. Для транспортной системы MIRAX

LRS с одновременным нахождением на маршруте 10 подвесных трамваев потребуются около 100 кВт электрической мощности (без учёта потребностей пассажирских станций и депо).

Трансформаторные подстанции и контактная сеть подвесного трамвая будут проектироваться в соответствии с требованиями СНиП 2.05.09-90.

Стоимость проектных работ, изготовления элементов, монтажа контактной сети и подстанций на сегодняшний день составляет в условиях г. Москвы 30—45 млн. руб./км.

9. Автоматическая система управления

Городской рельсовый (или монорельсовый) транспорт считается удобным объектом автоматизации, так как, в отличие от автомобильного транспорта, где все решения принимает водитель, водители рельсового подвижного состава строго руководствуются инструкциями, показаниями сигналов и расписанием движения. Пример структурной схемы автоматической системы управления (АСУ) транспортной системы MIRAX LRS представлен на рис. 9.1.



Рис. 9.1. Структурная схема автоматической системы управления транспортной системы MIRAX LRS

Основной задачей центров управления является управление движением подвижного состава. Они регулируют их скорость в зависимости от заданного графика скорости на линии, обеспечивают поддержание между ними безопасных расстояний и задают для них пункты остановок. Каждый подвесной трамвай

оборудуется бортовыми устройствами АСУ (не менее чем двумя). Основной задачей бортового устройства является расчет и контроль заданной скорости.

Заданная скорость движения подвесных трамваев рассчитывается на основе руководящей информации, передаваемой из центра управления и включающей в себя данные о месте окончания графика скорости при торможении, величине замедления (с учётом уклона участка пути), месте препятствия и скорости в месте препятствия. Помимо задания скорости и контроля за ней необходимо выполнять функцию управления тяговыми двигателями и тормозами. Эта функция интегрирована в программное обеспечение бортового устройства. Через АСУ осуществляется также управление выполнением вспомогательных функций, такими, как открывание и закрывание дверей, а также контроль за ними. В зависимости от технического задания конкретной компании-оператора возможно автоматическое открывание дверей при остановке у платформы или только их разблокирование с последующим индивидуальным открыванием самими пассажирами (нажатием кнопки).

Центр диспетчерского регулирования оборудуется вычислительной системой, не рассчитанной на выполнение ответственных функций. Для каждой транспортной сети выделяется только один центр диспетчерского регулирования, который выполняет общую координацию эксплуатационного процесса. Центр диспетчерского регулирования соединен со всеми центрами управления и выдает этим центрам диспетчерские задания. Объем выполняемых центром диспетчерского регулирования функций существенно зависит от местных условий. Во всех случаях в его вычислительную систему заложены расписания движения или его интервалы при высокой плотности движения подвижного состава, требуемые для регулирования перевозочного процесса. Центр диспетчерского регулирования образует также интерфейс с персоналом диспетчерского центра, обеспечивая управление выводом информации на мониторы и обработку регулировочных заданий диспетчеров.

Наибольшее распространение в области АСУ городского транспорта на сегодняшний день получили разработки двух ведущих мировых компаний: Alcatel-Lucent — франко-американская компания (до 2006 г. компания была чисто французской и именовалась Alcatel) и Siemens Transportation System (STS) — конгломерат, образованный в 2001 г. компаниями Siemens (Германия) и Matra

(Франция). К числу наиболее известных АСУ первой компании можно отнести: АСУ транспортной системы Sky Train (г. Ванкувер, Канада, см. рис. 9.2) и АСУ транспортной системы Monorail (г. Лас-Вегас, США, см. рис. 9.3). Всего число выполненных под ключ проектов Alcatel-Lucent на 2007 г. составляет 26, причём 11 из них выполнены в период с 2003 по 2007 г.

Наиболее заметными разработками компании STS являются: АСУ транспортной системы Н-bahn (г. Дортмунд, г. Дюссельдорф, Германия, см. рис. 9.4) и АСУ широко распространенной (в 35 городах мира) транспортной системы Val (см. рис. 9.5 и 9.6).



Рис. 9.2. Автоматическая транспортная система Sky Train (г. Ванкувер, Канада)



Рис. 9.3. Автоматическая транспортная система Monorail (г. Лас-Вегас, США)



Рис. 9.4. Автоматическая транспортная система H-bahn (г. Дюссельдорф, Германия)



Рис. 9.5. Автоматическая транспортная система Val (г. Тайбей, Тайвань)



Рис. 9.6. Центр диспетчерского управления автоматической транспортной системы Val (г. Турин, Италия)

Существуют и другие компании в этой области, имеющие опыт разработки АСУ городского транспорта, например, фирма Boeing (США) разработала АСУ городской транспортной системы PRT (г. Моргантаун, США, см. рис. 9.7).



Рис. 9.7. Автоматическая транспортная система PRT (г. Моргантаун, США)

Стоимость создания под ключ АСУ городского транспорта колеблется (на конец 2007 г.), в зависимости от протяжённости путевой структуры и опциональной наполненности проекта, от 2 до 3,5 млн. USD на один километр пути.

Подводя итог, можно констатировать, что автоматизация городского транспорта становится делом обычным. При этом автоматизация является не самоцелью, а средством повышения привлекательности городского транспорта, т. к. высокая плотность движения подвижного состава и гибкие схемы эксплуатации в зависимости от спроса на перевозки окупают себя только при режиме управления транспортом без водителей. Городская транспортная система, выполненная на технологиях MIRAX LRS, является также весьма удобным объектом автоматизации, т.к. обладает всеми признаками, способствующими упрощению автоматизации. Представляется целесообразным, на конкурсной основе, создать для MIRAX LRS АСУ, приемлемую по безопасности, качеству и стоимости.

10. Проектирование, изготовление и сертификация подвижного состава

Проектирование конструкции подвесных трамваев MIRAX LRS ведётся конструкторским бюро (КБ) «Юнибус» ООО «СТЮ». КБ «Юнибус» укомплектовано квалифицированным конструкторским персоналом по специальностям, необходимым для проектирования транспортных средств: механиками, электриками, электромеханиками, электронщиками, дизайнерами, расчетчиками и программистами. Федеральным государственным унитарным предприятием «Российский научно-технический центр информации по стандартизации, метрологии и оценке соответствия» ООО «СТЮ» присвоен код организации-разработчика конструкторской документации — «СТЕА».

Все проектно-конструкторские работы ведутся с учётом требований отечественных (ГОСТов, ОСТов, ТУ) и международных нормативных документов (Правил ЕЭК ООН, стандартов Европейского комитета по стандартизации) в области транспортного машиностроения, регламентирующих требования по безопасности, надежности, эргономике, охране окружающей среды.

Основные нормативные документы, которые используются при проектировании подвижного состава:

- уровень внешнего шума по Правилам ЕЭК ООН № 51;
- электромагнитная совместимость по Правилам ЕЭК ООН № 10;
- требования к тормозной системе по ГОСТ 8802-78 и EN 13452-1;
- огнестойкость конструкции по Правилам ЕЭК ООН № 52 и НПБ 20-2000;
- защитные свойства конструкции пассажирского салона по Правилам ЕЭК ООН № 29;
- внутренняя планировка пассажирского салона в части доступности к служебной и аварийной дверям, размеров проходов, размеров пассажирских сидений, расстояния между сиденьями, размеров и конструктивных исполнений служебной и запасной дверей, оснащения огнетушителями, конструкции поручней по Правилам ЕЭК ООН № 52;
- уровень внутреннего шума в салоне по ГОСТ Р 51616-2000;

- содержание вредных веществ в салоне по ГОСТ Р 51206-2004, ГОСТ 12.1.005-88;
- радиопомехи по ГОСТ Р 51318.12-99;
- отопление, вентиляция и кондиционирование по ГОСТ Р 50993-96;
- электробезопасность по ГОСТ 8802-78;

Концепция создания подвесных трамваев базируются на широком использовании испытанных и сертифицированных агрегатов, оборудования, узлов и элементов систем транспортных средств, зарекомендовавших себя безупречным функционированием в различных транспортных системах, и выпускаемых ведущими мировыми производителями. С этими фирмами ООО «СТЮ» имеет предварительные договоренности на поставку соответствующих узлов, агрегатов, изделий и оборудования.

Применение сертифицированной продукции ведущих мировых фирм позволит обеспечить высокий уровень надежности и качества подвижного состава MIRAX LRS.

В частности, в конструкции подвесных трамваев предполагается использовать сертифицированную продукцию следующих ведущих зарубежных фирм:

- VEM Sachsenwerk GmbH, Германия — тяговые электродвигатели;
- L-3 Communications Magnet-Motor GmbH, США-Германия — комплекты тягового электропривода;
- Mayr Antriebstechnik, Германия — компоненты тормозной системы;
- Knorr-Bremse, Германия — компоненты тормозной системы;
- Vossloh Kiepe GmbH, Германия — тяговые преобразователи;
- Bonatrans a.S. Bohumin, Чехия — компоненты ходовой системы;
- Gummi-Metall-Technik GmbH, Германия — резинометаллические детали ходовой системы;
- Webasto, Германия — система кондиционирования;
- Hübner, Германия — двери с механизмом открывания.

Продукция этих фирм поставляется с сертификатами, подтверждающими их соответствие заявленным требованиям.

Работы по созданию подвижного состава MIRAX LRS ведутся в соответствии с

нормативными документами, регламентирующими порядок разработки и постановки продукции на производство: ГОСТы группы 15 и СТБ 972-2000.

Главным изготовителем подвижного состава планируется производственное объединение «ЭТОН», г.г. Минск и Смолевичи, Республика Беларусь, которое входит в группу производственных предприятий «Дорэлектромаш».

В последние годы это предприятие успешно освоило выпуск низкопольных троллейбусов (см. рис. 10.1).



Рис. 10.1. Низкопольные троллейбусы предприятия ПО «ЭТОН» (Белоруссия)

Кроме выпуска троллейбусов предприятие производит силовые электронные устройства (преобразователи напряжения, преобразователи частоты, инверторы напряжения однофазные и трехфазные, стабилизаторы, регуляторы, сварочные преобразователи и установки) для различных нужд промышленности и транспорта. Предприятие имеет опыт производства комплектов тягового электрооборудования для городского электротранспорта мощностью до 200 кВт.

Действующая на предприятии система международного качества по ISO 9001 обеспечивает полный контроль технологического процесса изготовления продукции для MIRAX LRS.

Продукция предприятия хорошо себя зарекомендовала и пользуется спросом в странах ближнего и дальнего зарубежья, в том числе в странах ЕС.

Для подтверждения заявленных характеристик подвижного состава MIRAX LRS предусматриваются проведение стендовых и натурных испытаний. Испытания планируется проводить на головном предприятии-изготовителе и на опытной рельсо-струнной трассе моноСТЮ.

Проведение работ по сертификации подвижного состава MIRAX LRS будет проводиться совместно с «Научно-исследовательским институтом электрического транспорта» (НИИГЭТ), г. Москва, с которым ООО «СТЮ» заключило соглашение о сотрудничестве. НИИГЭТ является одним из ведущих институтов Министерства транспорта РФ, занимающихся проблемами городского рельсового транспорта.

Привлечение специализированного института позволит сократить сроки на проведение работ по сертификации. В частности, НИИГЭТ выполнит следующие работы:

- разработка нормативной документации (стандартов) на подвесной трамвай;
- разработка программ и методик стационарных и ходовых испытаний подвесных трамваев и его узлов;
- организация комплексных стационарных и ходовых испытаний опытного образца подвесного трамвая и его сертификации.

Проектные работы, требующие привлечения специализированных фирм, например, разработка автоматической системы управления движением и подвесной контактной сети, будут выполняться на договорной основе. С этими фирмами ООО «СТЮ» имеет предварительные договоренности. В частности, по автоматической системе управления движением, ООО «СТЮ» поддерживает деловые связи, начатые в сентябре 2006 г. на специализированной выставке «Inno Trans 2006» с французской фирмой Alcatel (ныне франко-американская компания Alcatel-Lucent). Намеченная на 24 сентября 2008 г. встреча с представителями указанной компании в рамках международной выставки транспортных технологий “Inno Trans 2008” в г. Берлине может стать ступенькой к взаимовыгодному контракту.

В части работ, связанных с разработкой подвесной контактной сети, ООО «СТЮ» имеет давние связи с белорусским проектным институтом «Минскинжпроект».

11. Обоснование планируемых объемов перевозок автоматической транспортной системой MIRAX LRS по маршруту «Миракс Федерация — станция метро «Международная» — Миракс Плаза»

11.1. Введение

В обосновании рассмотрены принципиальные технические возможности автоматической транспортной системы MIRAX LRS по объёму перевозок пассажиров на маршруте «Миракс Федерация — станция метро «Международная» — Миракс Плаза». Рассмотрены три варианта объёма перевозок: 5000, 10000 и 15000 пасс./час. Подвижной состав сформирован на базе подвесных трамваев с пассажироместимостью 56 человек каждый (см. рис. 11.1 и 11.2). Площадь пола трамвая для размещения стоящих пассажиров в часы пик соответствует предписанию ЕЭК ООН № 52 и составляет $0,125 \text{ м}^2$ на одного стоящего пассажира.

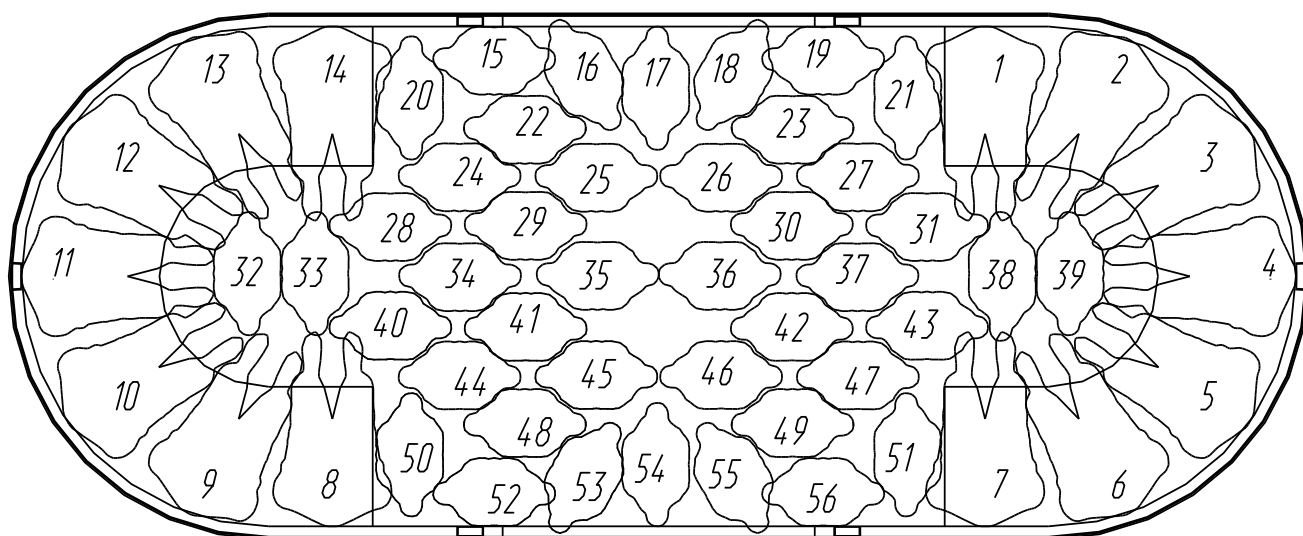


Рис. 11.1. Схема размещения пассажиров в часы пик в салоне подвешенного трамвая (14 сидячих мест и 42 — стоящих)

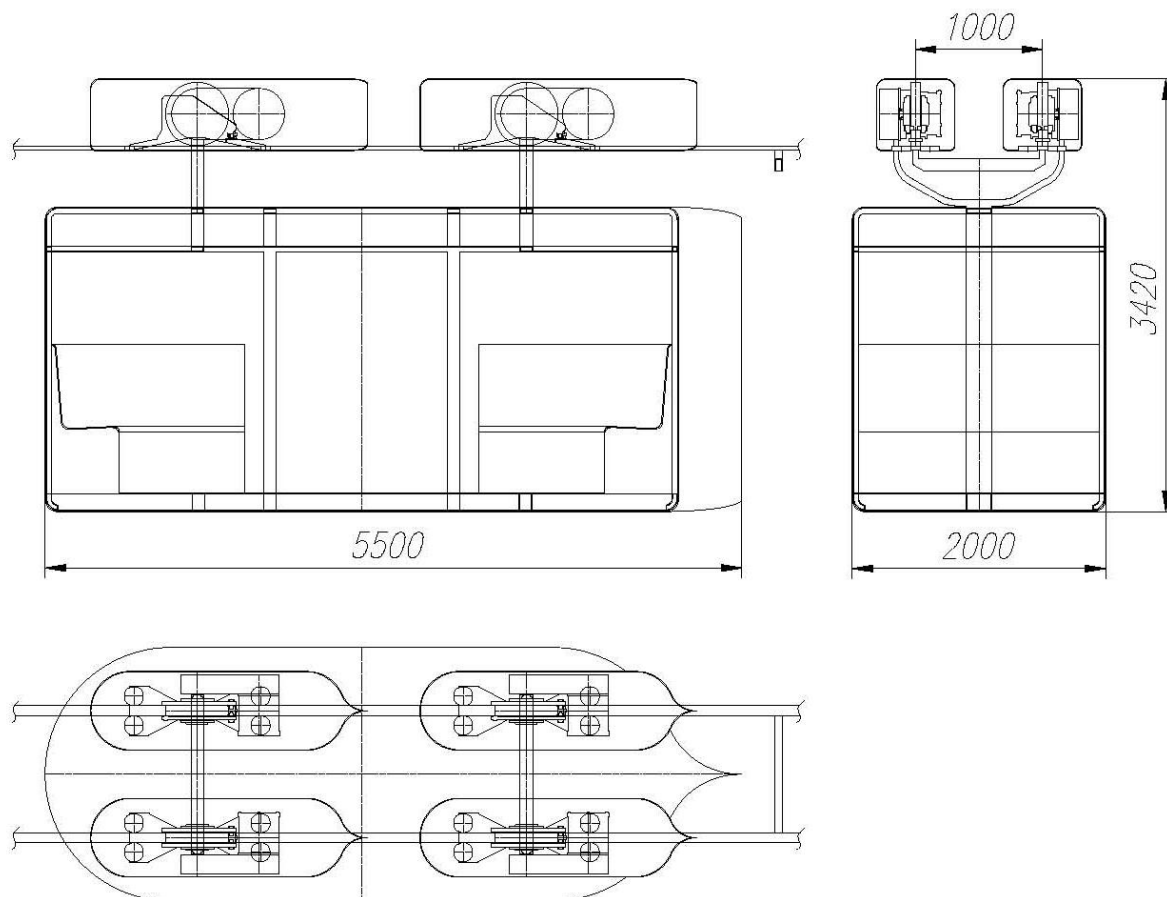


Рис. 11.2. Компоновочная схема подвесного трамвая вместимостью 56 пассажиров

Предлагается использовать рельсо-струнный путь, состоящий из двух рельсо-струн, размещённых на расстоянии 1 м друг от друга (см. рис. 11.2). Соответственно, подвесной трамвай будет иметь 4 одноколёсные ходовые тележки, по 2 тележки на каждый рельс-струну.

11.2. Расчёт интервала движения подвесных трамваев

Расчёт интервала движения одиночных подвесных трамваев производится по формуле:

$$t_{ин} = 3600 \cdot n \cdot m / Q, \quad \text{сек.}, \quad (11.1)$$

где:

Q — объём перевозок, пасс./час (см. табл. 11.1);

$n = 2$ — количество направлений движения;

$m = 56$ — пассажировместимость одного трамвая (в часы пик), пасс.

Результаты расчёта — см. табл. 11.1.

Таблица 11.1

Интервал движения подвесных трамваев в зависимости от объёма перевозок

№	Q (объём перевозок), пасс./час	$t_{ин}$ (интервал движения), сек.
1	5000	80
2	10000	40
3	15000	27

Максимальный объём перевозок в 15000 пасс./час обеспечивается при интервале движения подвесных трамваев, равном 27 сек. Приведённые в табл. 11.1 интервалы движения близки по величине к интервалам движения традиционного общественного неавтоматизированного транспорта. Так, например, СНиП 2.05.09-90 «Трамвайные и троллейбусные линии» рекомендует на стадии разработки транспортных схем ориентироваться для традиционного трамвая на среднюю величину интервала движения в 50 сек.

Необходимо отметить, что в мире существуют транспортные системы со значительно меньшими интервалами движения подвижного состава. Например, транспортная система PRT (США, г. Morgantown, см. рис. 11.3 и 11.4), благодаря полной автоматизации, обеспечивает интервал движения 15 сек.

Находится на завершающей стадии финансируемый Евросоюзом проект известной транспортной системы ULTra, где требуемый объём перевозок достигается за счет снижения интервала движения между отдельными транспортными модулями. Считается, что такая транспортная система обладает большей «гибкостью» и более экономична в эксплуатации. В данной автоматической транспортной системе реализуется интервал движения, равный 10 сек. (см. рис. 11.5).



Рис. 11.3. Автоматическая транспортная система PRT (конечная станция)



Рис. 11.4. Автоматическая транспортная система PRT (промежуточная станция)



Рис. 11.5. Автоматическая транспортная система ULTra (испытательный полигон Advanced, Англия)

11.3. Объём перевозок пассажиров в MIRAX LRS и циклограммы движения

Графики объёма перевозок пассажиров по отдельно взятой пассажирской станции, для различных пассажиропотоков, приведены на рис. 11.6, 11.7 и 11.8.

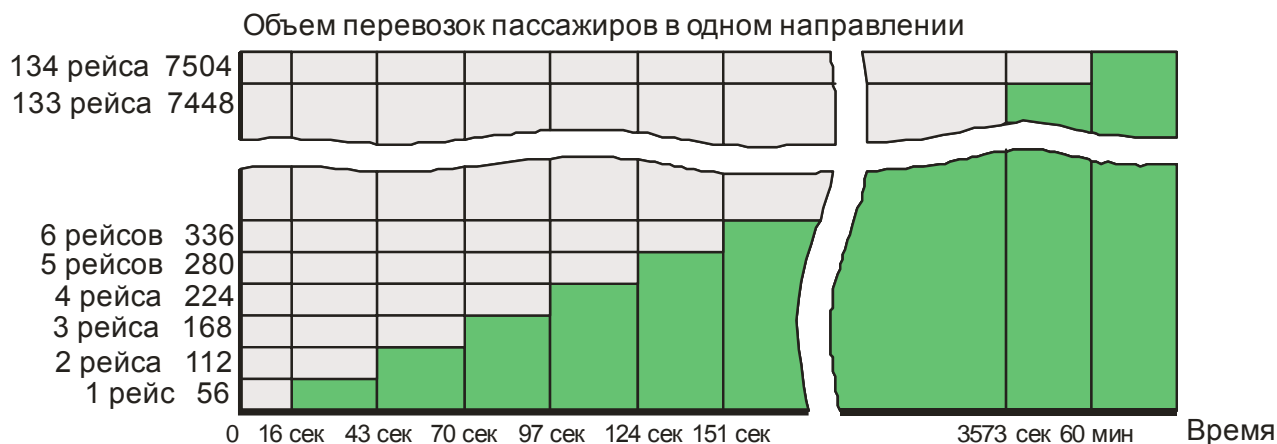


Рис. 11.6. График объёма перевозок пассажиров (в одном направлении) по отдельной станции при двухстороннем пассажиропотоке на транспортной системе MIRAX LRS, равном 15000 пасс./час (время стоянки 16 сек., интервал движения 27 сек.)

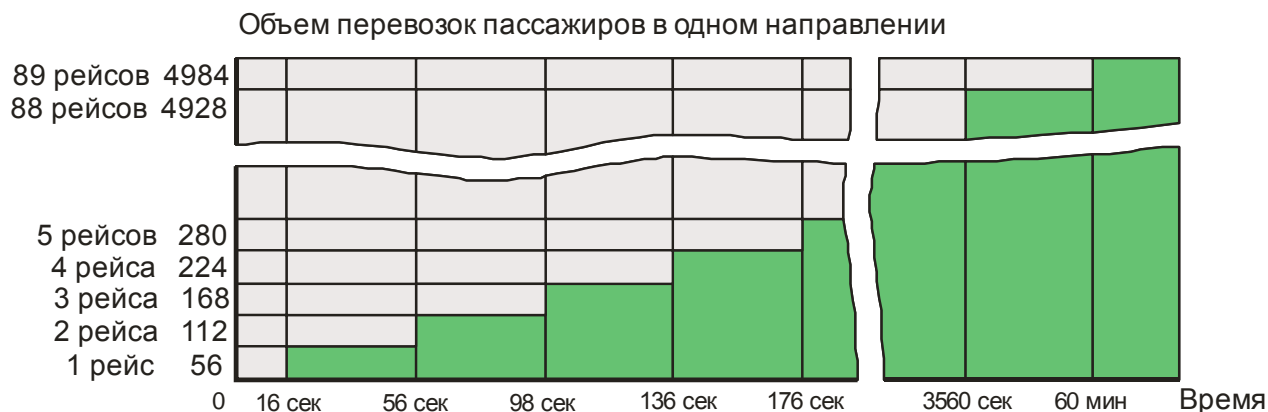


Рис. 11.7. График объёма перевозок пассажиров (в одном направлении) по отдельной станции при двухстороннем пассажиропотоке на транспортной системе MIRAX LRS, равном 10000 пасс./час (время стоянки 16 сек., интервал движения 40 сек.)

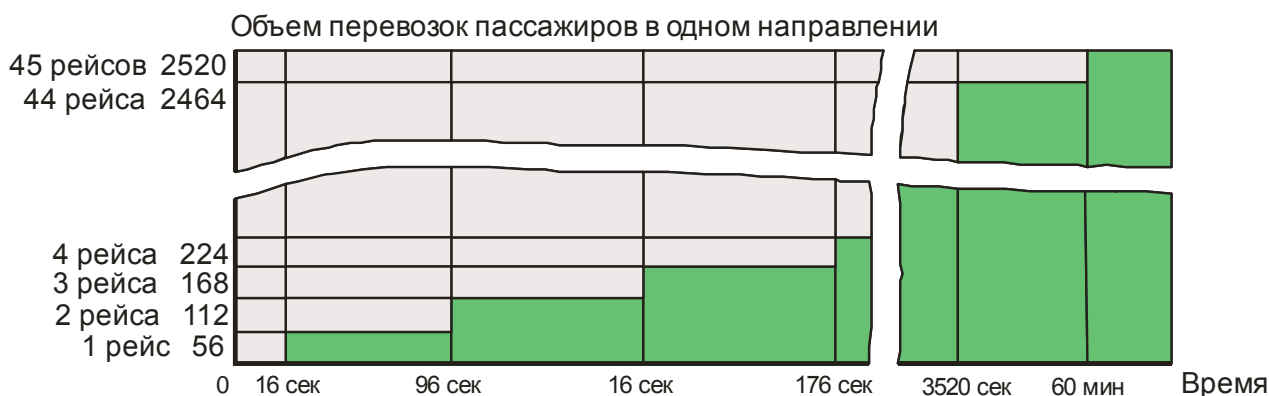
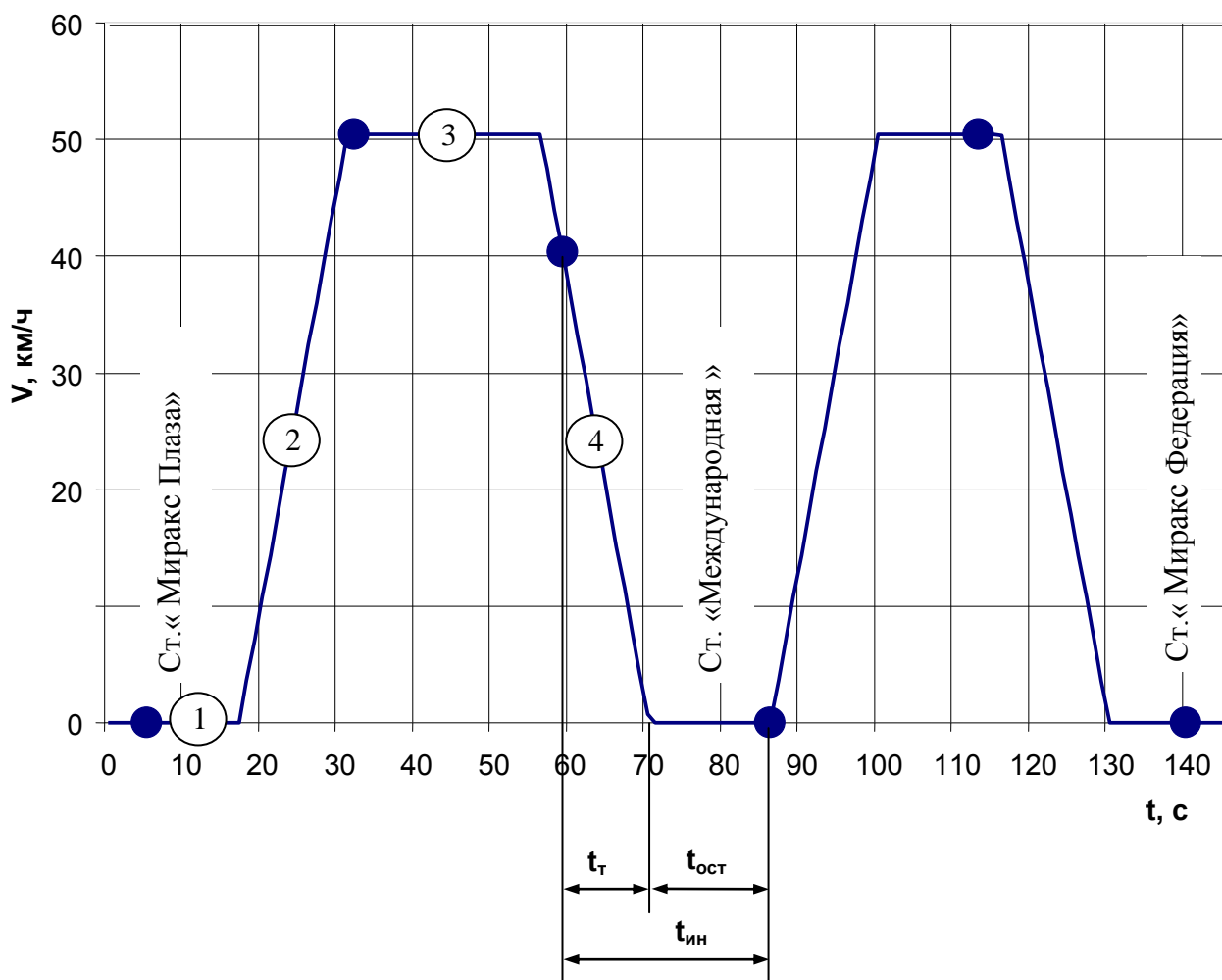


Рис. 11.8. График объёма перевозок пассажиров (в одном направлении) по отдельной станции при двухстороннем пассажиропотоке на транспортной системе MIRAX LRS, равном 5000 пасс./час (время стоянки 16 сек., интервал движения 80 сек.)

Циклограммы движения подвесных трамваев изображены на рис. 11.9, 11.10 и 11.11. На циклограммах показаны:

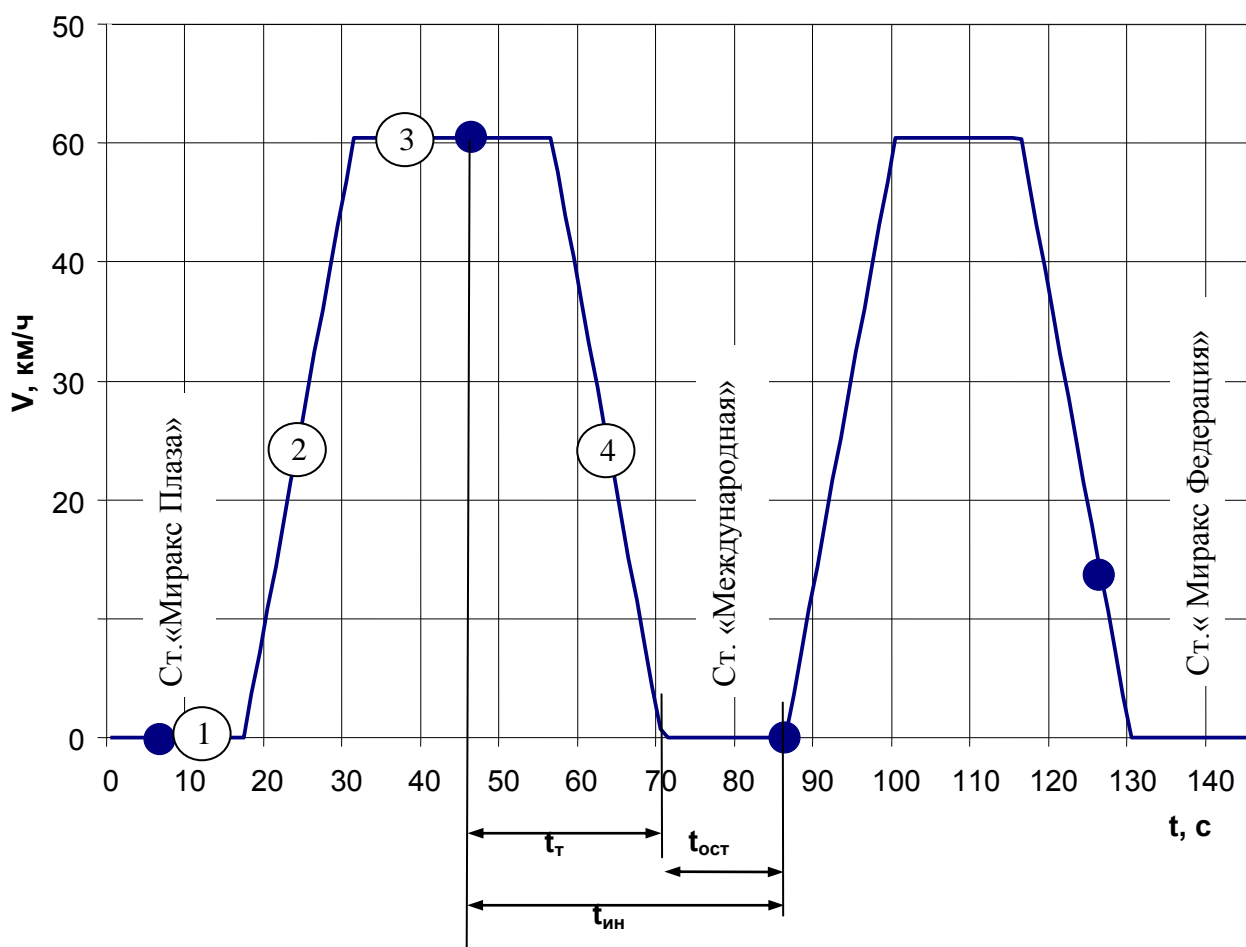
- маркерами обозначены отдельные подвесные трамваи на маршруте;
- $t_{ин}$ — интервал движения, сек.;
- $t_{ост}$ — время, необходимое для посадки/высадки пассажиров на станции с учётом времени открывания/закрывания дверей, сек.;
- $t_r = t_{ин} - t_{ост}$, — запас времени, необходимый для замедления и остановки подвесного трамвая, сек.



Условные обозначения:

- ① стоянка на пассажирской станции
- ② разгон с ускорением 1 м/с^2
- ③ равномерное движение со скоростью 51 км/час
- ④ торможение с ускорением 1 м/с^2
- местонахождение подвесного трамвая (10 трамваев на двух путях транспортной системы)

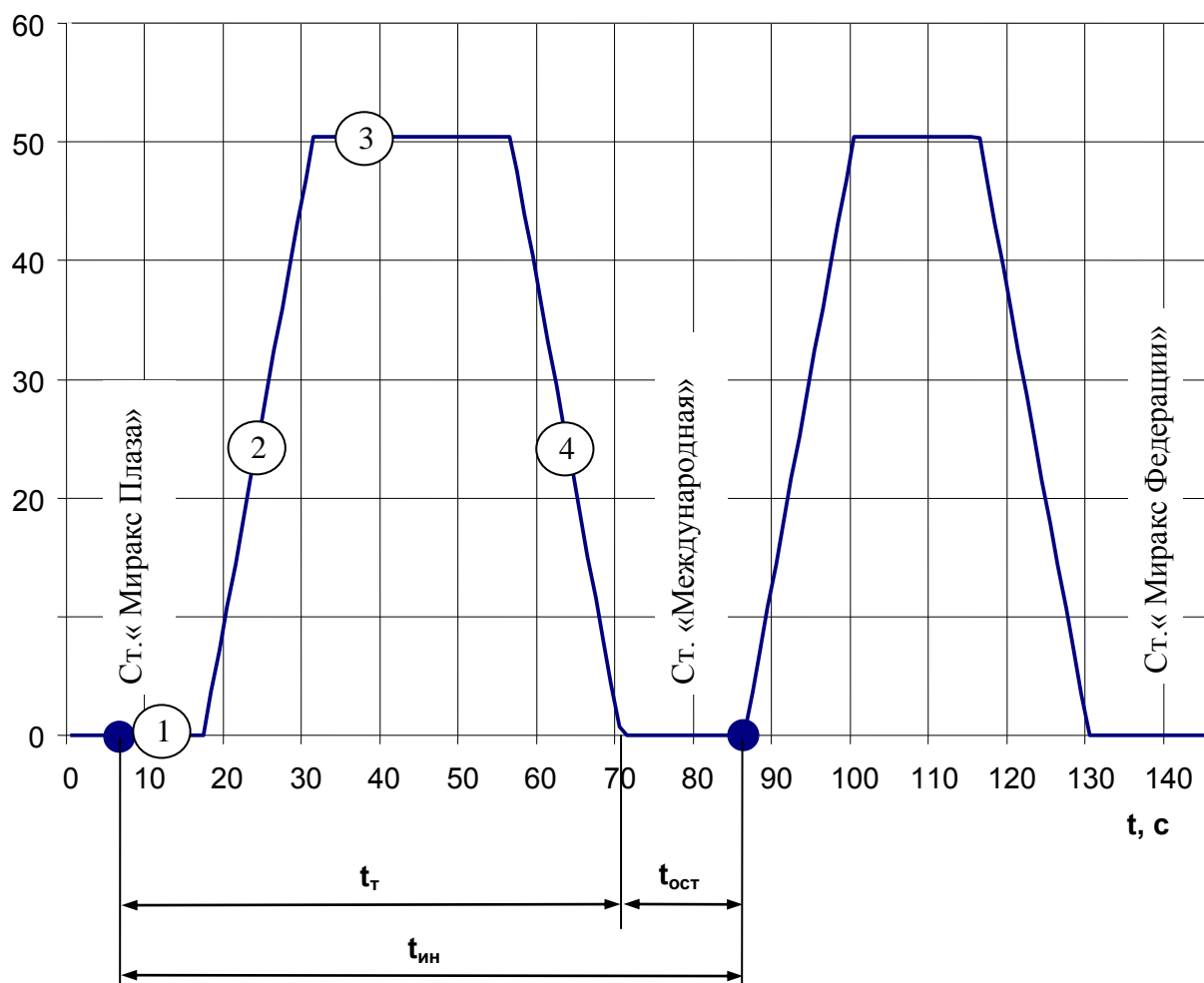
Рис. 11.9. Циклограмма движения подвесных трамваев на одном пути трассы, с минимальным интервалом движения $t_{ин} = 27$ сек. и двухстороннем объёме перевозок пассажиров в количестве 15000 пасс./час.



Условные обозначения:

- ① стоянка на пассажирской станции
- ② разгон с ускорением 1 м/с^2
- ③ равномерное движение со скоростью 51 км/час
- ④ торможение с ускорением 1 м/с^2
- местонахождение подвесного трамвая (7 трамваев на двух путях транспортной системы)

Рис. 11.10. Циклограмма движения подвесных трамваев на одном пути трассы, с минимальным интервалом движения $t_{ин} = 40 \text{ сек}$ и двухстороннем объеме перевозок пассажиров в количестве 10000 пасс./час .



Условные обозначения:

- ① стоянка на пассажирской станции
- ② разгон с ускорением 1 м/с^2
- ③ равномерное движение со скоростью 51 км/час
- ④ торможение с ускорением 1 м/с^2
- местонахождение подвесного трамвая (4 трамвая на двух путях транспортной системы)

Рис. 11.11. Циклограмма движения подвесных трамваев на одном пути трассы, с минимальным интервалом движения $t_{ин} = 80 \text{ сек}$ и двухстороннем объёме перевозок пассажиров в количестве 5000 пасс./час .

Цикл движения каждого подвесного трамвая состоит из 4-х участков:

- 1) стоянка на пассажирской станции;
- 2) разгон с ускорением $a = 1\text{ м/с}^2$ до расчетной скорости движения на перегоне;
- 3) равномерное движение на перегоне;
- 4) служебное торможение в соответствии с предписаниями европейского стандарта EN 13452-1 с замедлением $a = -1\text{ м/с}^2$, до полной остановки трамвая на станции.

11.4. Время стоянки на станции

Наибольшее требуемое время стоянки подвижного состава в часы пик рассчитывается из условия полного пассажирообмена (100%), что, например, может наблюдаться на промежуточной станции транспортной системы (ст. метро «Международная»).

Время стоянки находится как сумма:

$$t_{\text{ост}} = t_{\text{откр.}} + t_{\text{вых.}} + t_{\text{вх.}} + t_{\text{закр.}}, \quad \text{сек.}, \quad (11.2)$$

где:

$t_{\text{откр.}} = t_{\text{закр.}} = 1,5$ сек. — время, необходимое для открывания и закрывания дверей подвесного трамвая производства фирмы Hübner (Германия);

$t_{\text{вых.}} = (l_1 + l_2) / V$, сек. — время, необходимое для выхода пассажиров (100 %) из подвесного трамвая;

$t_{\text{вх.}} = l_2 / V$, сек., — время, необходимое для входа пассажиров (100 %),

где:

l_1 и l_2 (м) — условно пройденные пассажирами расстояния при выходе (входе) (см. рис. 11.12);

$V = 1,39$ м/с (5 км/час) — средняя скорость выхода (входа) пассажира.

Произведя вычисления, получаем:

$$t_{\text{вых.}} = 6,7 \text{ сек.}, t_{\text{вх.}} = 6,3 \text{ сек.}, t_{\text{откр.}} = t_{\text{закр.}} = 1,5 \text{ сек.}, t_{\text{ост}} = 16 \text{ сек.}$$

Таким образом, при цивилизованной* организации выхода (входа) всех пассажиров для каждого подвесного трамвая MIRAX LRS на станции (56 пассажиров выходят и 56 пассажиров входят), достаточно 16 секунд времени.

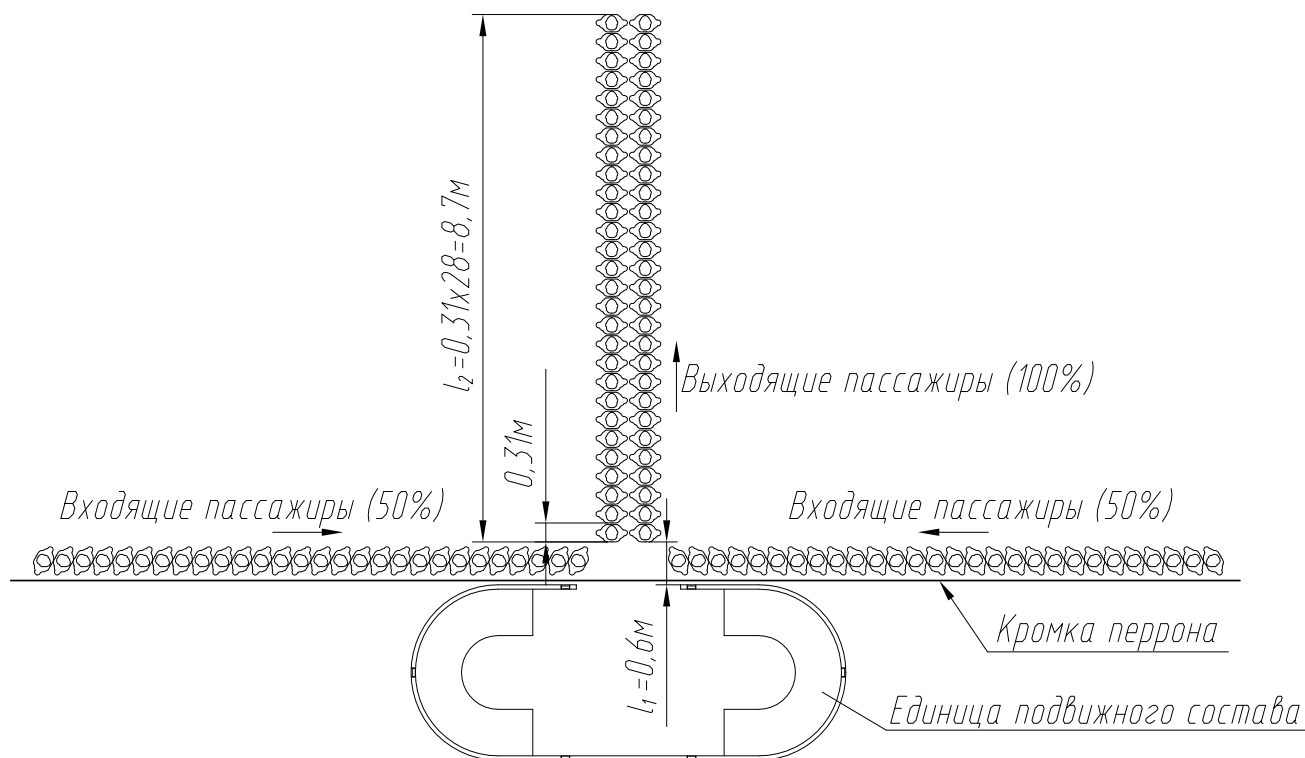


Рис. 11.12. Схема к расчёту времени полного пассажирообмена на промежуточной станции MIRAX LRS (например, на ст. метро «Международная»). Схема размещения пассажиров показана условно, для определения среднего расстояния, которое должен пройти пассажир.

Необходимо отметить, что при значительно бóльших пассажиропотоках в московском метро, время стоянки поездов на станциях метрополитена в часы пик составляет всего 15—20 сек. Минимальный интервал движения поездов метро, равный 1 минуте в часы пик, обусловлен не временем входа—выхода пассажиров в вагонах поезда, а — длительным временем въезда протяжённого и громоздкого поезда на протяжённую же станцию (15—20 сек.) и выезда поезда со станции (15—20 сек.).

* при наличии разметки на полу станции, ограждений, указателей и рекомендаций пассажирам входить в трамвай и выходить из него в порядке живой очереди

Кроме того, вход (выход) пассажиров в подвесной трамвай MIRAX LRS, имеющий широкую дверь (1,2 м), будет менее длительным по времени, чем в вагон поезда метро, имеющего 4 двери и вместимость 350 пасс. (в часы пик), т.к. каждая дверь вагона поезда метро, имеющая ту же ширину, что и в подвесном трамвае, должна обеспечить на станции пропуск $350 / 4 = 87,5$ пасс. против 56 пасс. в MIRAX LRS.

При нецивилизованной организации выхода (входа) всех пассажиров подвесного трамвая на станции, достаточно будет 27 сек. (вместо 16 сек.) при пассажиропотоке 15000 пасс./час. Тем более, будет достаточно 40 сек. и 80 сек. при пассажиропотоках, равных, соответственно, 10 000 пасс./час и 5000 пасс./час.

11.5. Проверка минимального интервала движения подвесных трамваев из условия обеспечения безопасной дистанции

Минимальный интервал движения $t_{\text{ин}}=27$ сек. (см. табл. 11.1) необходимо проверить на обеспечение безопасной дистанции между подвесными трамваями. Наибольшее сближение подвесных трамваев будет наблюдаться в момент начала отправки со станции (после посадки пассажиров и закрытия дверей) очередного трамвая с приближающимся к станции сзади идущим трамваем.

Исходя из запаса времени, необходимого для замедления и остановки подвижного состава, $t_t = 27 - 16 = 11$ сек., и нормируемого европейским стандартом EN 13452-1 замедления при служебном торможении, $a = -1$ м/с², по выражению $S = V^2/2a$, строим кривую торможения и определяем безопасное месторасположение подвесных трамваев на маршруте «Миракс Плаза» — «Международная» — «Миракс Федерация» (см. рис. 11.13). При этом тормозной путь, определяющий безопасную дистанцию, вычисляется по формуле:

$$S_T = a \cdot t_t^2 / 2 = 1 \cdot 11^2 / 2 = 60,5 \text{ м}, \quad (11.3)$$

где:

S_T — безопасное расстояние, м;

a — ускорение торможения, $a = 1 \text{ м/с}^2$;

t_T — имеющийся запас времени, $t_T = 11 \text{ сек.}$

Сравнение графика на рис. 11.13 с циклограммой на рис. 11.9 показывает, что в MIRAX LRS будет обеспечено безопасное расстояние между всеми подвесными трамваями при максимальном пассажиропотоке 15000 пасс./час.

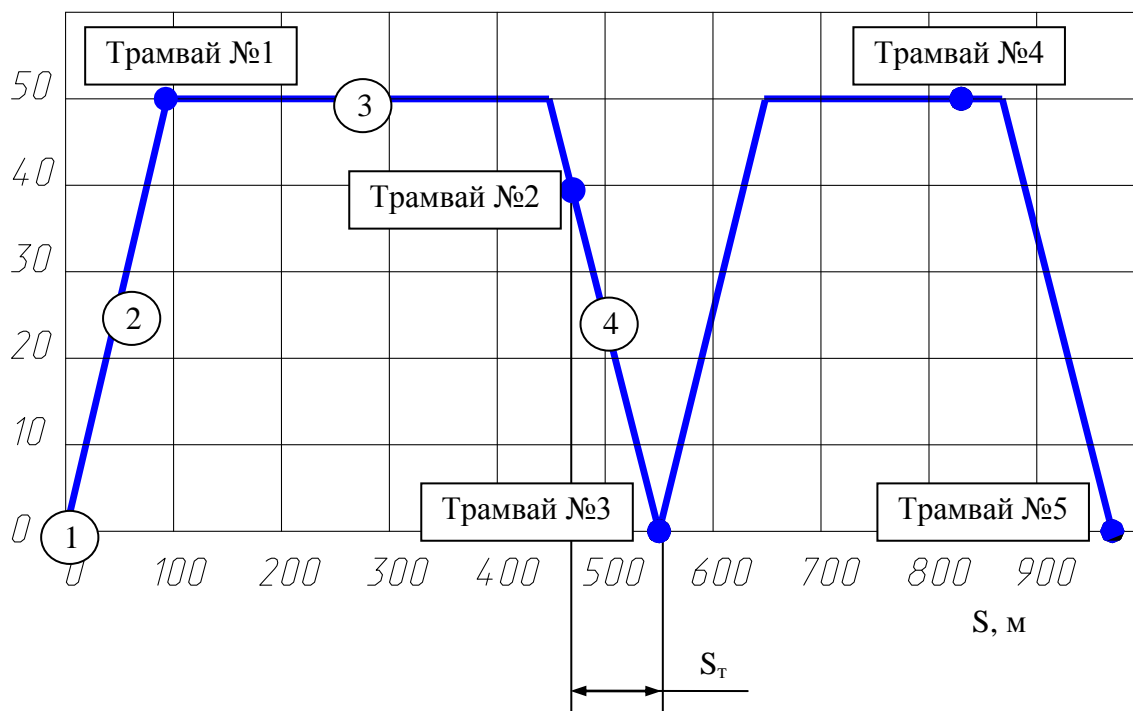


Рис. 11.13. Безопасное месторасположение движущегося подвесного трамвая № 2 на маршруте ст. «Миракс Плаза» — ст. «Международная» — ст. «Миракс Федерация» (объем перевозок 15000 пасс./сутки) в момент трогания трамвая № 3 со ст. «Международная»

11.6. Выводы

1) Расчёты показывают, что все три варианта объёма перевозок — 15000, 10000 и 5000 пасс./час — автоматической транспортной системой MIRAX LRS будут обеспечиваться. При этом интервалы движения подвесных трамваев (соответственно

27, 40 и 80 сек.) обеспечивают безопасную дистанцию, нормируемую европейским стандартом EN 13452-1.

2) Требуемое время стоянки подвесных трамваев (вместимость 56 пасс.) на станции при 100% пассажирообмене в часы пик (что, например, наблюдается крайне редко при эксплуатации любых существующих транспортных систем) составит всего 16 сек.

3) Автоматизация транспортной системы MIRAX LRS (автоведение без оператора) позволит существенно уменьшить интервалы движения подвесных трамваев, обеспечивая высокие объёмы перевозок даже при небольшой вместимости их пассажирских салонов. Например, подвесные трамваи вместимостью 56 пасс. (в часы пик) обеспечат двухсторонний объём перевозок в 15000 пасс./час даже в случае полного пассажирообмена на каждой станции (для трассы с 3 пассажирскими станциями это будет эквивалентно двухстороннему пассажиропотоку в 22500 пасс./час — столько пассажиров приобретут билеты). Объём перевозок в 15000 пасс./час обеспечат 10 подвесных трамваев, 10000 пасс./час — 7 трамваев, 5000 пасс./час — 4 трамвая.

4) Время в пути на трассе MIRAX LRS от станции «Миракс Федерация» до станции «Миракс Плаза» составит для пассажиров менее 2 минут — 1 минута 54 секунды, с учётом промежуточной остановки на станции «Международная», и не будет зависеть от времени суток, времени года и погодных условий.

12. Глубина проработки транспортных технологий СТЮ и патентная защита

На основании выполненных в течение 31 года (с 1977 г.) исследований предложены научно обоснованные пути совершенствования скоростного внеуличного 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 рельсо-струнная транспортная система, которая может быть отнесена к прорывным технологиям (единственная за всю историю 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 дешёвой системой среди других скоростных транспортных систем «второго уровня». СТЮ защищён патентами на изобретения (около 50 патентов) и имеет около 100 ноу-хау.

2. Разработана конструкция всех составных элементов моноСТЮ (в нескольких вариантах исполнения): опор (анкерных, промежуточных и поворотных), рельса-струны, путевой структуры, подвижного состава — пассажирского, грузового и грузопассажирского.

3. Разработана и испытана форма корпуса скоростного подвесного трамвая с коэффициентом аэродинамического сопротивления до $C_x=0,08$, не имеющего аналогов в других видах транспорта (по этому показателю аэродинамическое сопротивление трамвая моноСТЮ будет ниже чем, например, у лучших спортивных автомобилей в 4—5 раз).

4. Разработана технология строительства.

5. Исследованы более 100 вариантов конструктивного выполнения рельсо-струнной путевой структуры, осуществлена их оптимизация, испытания и выбор

наиболее целесообразных вариантов, рекомендуемых к использованию в городских высотных трассах.

6. Исследована статика моноСТЮ, 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 пролётов, высот рельса-струны, размеров, вместимости и грузоподъёмности транспортных модулей и др.

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

7. Исследована динамика колебаний рельсо-струнной путевой структуры и подвесного трамвая при различных режимах движения (одиночный трамвай и их поток в широком диапазоне скоростей), различной конструкции путевой структуры (сплошной и разрезной рельс-струна) и широком диапазоне конструктивных параметров (длина пролёта, усилие натяжения струны, жёсткость рельса, масса трамвая, физико-механические характеристики используемых материалов, жёсткость подвески колеса, демпфирующие способности элементов системы и др.). Сделаны выводы и даны рекомендации:

- определены условия организации безрезонансного движения одиночного трамвая и потока трамваев по моноСТЮ;
- определено, что рельсо-струнная транспортная линия сплошной конструкции предпочтительнее по сравнению с СТЮ с разрезным над опорами корпусом, т.к. динамический прогиб такого пролёта будет меньше, а его форма не будет иметь угловых точек.

8. Осуществлён технико-экономический анализ различных вариантов моноСТЮ для пассажирских и грузовых перевозок. Оптимизирована организация движения подвесных трамваев с целью снижения себестоимости перевозок.

9. Получены следующие практические результаты:

- построен экспериментальный 150-метровый участок одного из вариантов СТЮ в г. Озёры Московской области; ведется работа по его удлинению с проведением динамических испытаний СТЮ, транспортного модуля, их узлов и агрегатов;
- испытаны различные варианты моноСТЮ на действующих моделях масштаба 1:5, 1:10 и 1:15;
- разработаны и изготовлены элементы конструкции элементов путевой структуры моноСТЮ: опор, рельса и их узлов; сделаны заказы на производство всех их составных элементов, начиная с высокопрочной стальной проволоки для струны и анкерного его крепления и заканчивая стальным прокатом для опор;
- спроектированы различные варианты подвесных трамваев, определены лучшие в мире производители составных элементов, узлов и агрегатов (начиная с электродвигателя, автоматической двери и климат-контроля и заканчивая автоматической системой управления), а также — изготовитель самого трамвая и сертифицирующий орган. Со всеми указанными организациями заключены соглашения, договоры или подписаны протоколы о намерениях. Поэтому в течение 2 лет после получения заказа на конкретный вариант исполнения подвесного трамвая он будет сертифицирован и поставлен заказчику.

13. Конкурентные преимущества транспортных услуг моноСТЮ

Транспортная система, как таковая, мало интересует потребителя, который, оплачивая проезд, приобретает транспортную услугу, и, таким образом, опосредованно оплачивает строительство и эксплуатацию всей транспортной системы. Качество этой услуги и интересует, в первую очередь, потребителя: комфортность, безопасность, всепогодность, экологичность, доступность и др. Рассмотрим качество услуги, которая достигается в высотном моноСТЮ в проекте MIRAX LRS и которая может рассматриваться только в транспортной системе в целом, а не исходя лишь из характеристик транспортного средства, как это принято сейчас, например, в существующем городском наземном общественном транспорте.

13.1. Преимущества городского транспорта «второго уровня»

Существующий городской пассажирский транспорт — автобусы, микроавтобусы, троллейбусы, трамваи — является транспортом «первого уровня», т.к. ездовое полотно в нём 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 громоздкого и массивного подвижного состава, проезжающего в непосредственной близости от жилых зданий и др.

Подъём подвижного состава над поверхностью земли на большую высоту (20 м и более), т.е. на «второй уровень», повышает безопасность движения на несколько порядков, т.к. жителям города и городским животным предоставляется для перемещения поверхность земли (город на этом участке может стать пешеходным), а движение подвижного состава осуществляется по чётко определённой рельсовой пути (а не в произвольном месте как у автомобильного транспорта). При этом значительно может быть снижен уровень шумов, производимой транспортной системой, и улучшена экология пассажирских перевозок благодаря уменьшению на

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

Особенно ярко преимущества транспорта «второго уровня» будут проявлены при строительстве моноСТЮ в существующей городской застройке:

- подъём подвесного трамвая над поверхностью земли и отказ от сплошного полотна, создающего эффект экрана при скоростном движении, улучшает аэродинамику транспортного средства и, соответственно, снижает расход энергии (топлива) только за счёт этого примерно в 2 раза;
- выполнение пути с провисом в несколько метров на пролёте 100—500 м позволяет отказаться от сложным, материалоемких и дорогих поддерживающих конструкций, используемых в традиционных большепролётных мостах: поддерживающих канатов, вант, стержневых ферм и др. элементов, установленных на высоких и дорогостоящих пилонах;
- отказ от резиновых шин и переход на стальные колеса уменьшает сопротивление качению колеса в 20—30 раз и на весь период эксплуатации системы (100 лет) решает проблему гололёда и уборки снега — снег и лёд толщиной до 5 см на головке рельса будут крошиться колесом до контакта «сталь — сталь» и сбрасываться им с рельса (пневмошины и обрешиненные колёса не раздавливают, а уплотняют снег и лёд, наращивая его толщину);
- при совмещении анкерной опоры моноСТЮ с несущим каркасом высотного здания транспортная система не займет ни одного квадратного метра городской земли (землю займет здание — жилое, офисное, торговое и т.п. — имеющее самостоятельное, нетранспортное назначение), при этом стоимость анкерной опоры войдёт в стоимость здания, которое при этом практически не станет дороже аналогичного здания с традиционным несущим каркасом;
- низкий коэффициент сопротивления качению стальных колёс с цилиндрическим опиранием, самые высокие в мире аэродинамические качества корпуса подвесного трамвая, использование для разгона подвижного состава гравитации (а не двигателя), а для штатного

торможения — также гравитации (вместо тормозов) сделают моноСТЮ самой экономичной транспортной системой в мире;

- отсутствие ездового полотна, лежащего на грунте, бесстыковый идеально ровный путь, задемпфированность рельса-струны (на железобетонных опорах) и стальных колес, имеющих резиновую прослойку между ободом и ступицей, малая неподрессоренная масса колеса, большая высота размещения пути (более 20—30 м в центре пролёта), упругий прижим рельса к колесу, которое даже на неровностях не может оторваться от рельса (безотрывное движение колес обеспечивает то, что рельс-струна на пролёте плавно и упруго прогнут под трамваем на несколько метров), бесшумные безредукторные электрические мотор-колеса и др. обеспечат самые высокие экологические показатели моноСТЮ — он будет бесшумным, не создаст вибрацию почвы и зданий и будет самым экологически чистым видом городского пассажирского транспорта (не будет выбрасывать в окружающую среду никаких загрязняющих веществ).

13.2. Новый уровень скорости в городском общественном транспорте

МоноСТЮ станет самой скоростной городской пассажирской транспортной системой в мире благодаря следующим особенностям:

- разгон и торможение подвижного состава в моноСТЮ осуществляется преимущественно гравитацией, поэтому не зависит от погоды и человеческого фактора и будет определяться только перепадом высот между смежными станциями и серединой промежутка между ними. Поэтому максимальную скорость движения подвижного состава можно задать еще на стадии строительства из условий комфортности пассажиров: ускорения разгона и торможения и максимально комфортно воспринимаемой скорости, например, 80 км/час на перегоне (для перегона длиной 800 м);
- отсутствие перекрёстков и помех на пути; только штатное, по расписанию, движение подвижного состава независимо от времени года и погодных

условий; малые размеры подвесного трамвая, который быстро въедет на станцию и быстро выедет из неё (в моноСТЮ станции будут компактными, без протяжённых перронов), и малая их вместимость, что обеспечат быструю посадку—высадку пассажиров, позволят, без дополнительных затрат, достичь на коротком перегоне между станциями самую высокую из возможно допустимых по условиям комфортности эксплуатационную скорость, которая может быть выше, например, аналогичной скорости в московском метро в 1,3—1,5 раза.

13.3. Новый уровень комфортности перевозок

МоноСТЮ 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 подвесной трамвай будет снабжён системой климат-контроля, причём исходный воздух будет чист, т.к. будет забираться на высоте 20—30 м и более (а не у поверхности асфальта, как на существующем городском транспорте), в нём 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 подвесных трамваев по рельсо-струнной путевой структуре не зависит от погодных и дорожных условий (ветер, дождь, снег, туман, гололёд и др.), на трассе нет светофоров, пересечений в одном уровне с другими видами транспорта и пешеходами, поэтому средняя скорость движения на моноСТЮ будет значительно выше (в 2—3 раза и более), чем в существующем наземном городском общественном транспорте (автобус, троллейбус, трамвай). Это повысит комфортность для пассажиров, т.к. они быстрее и в более безопасных и комфортных условиях воспользуются транспортной услугой.

Высокая частота следования подвесных трамваев (каждые 1—2 минуты, а в часы пик — 30 сек. и менее) 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 традиционным трамваем), подвесные трамваи моноСТЮ будут следовать с высокой частотой, поэтому пассажиры не будут долго ожидать на станции, 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, инвалидов. При этом пассажир будет ожидать транспорт находясь в комфортных условиях — в современной и уютной станции, отапливаемой зимой и кондиционируемой летом.

Автобусы, троллейбусы и трамваи, из-за своих больших габаритов, в значительной степени способствуют образованию «пробок» на городских улицах, создавая дискомфорт не только для своих пассажиров, но и для пользователей других видов городского общественного транспорта, а также личных автомобилей и такси.

МоноСТЮ является всепогодным транспортом. Поэтому ни проливной дождь, ни ураганный ветер, ни снежные заносы на улицах не повлияют на график движения подвижного состава. МоноСТЮ сможет работать и при наводнениях, когда наземный городской транспорт будет парализован, а также при землетрясениях и других стихийных бедствиях. Не повлияет на работу рельсо-струнного транспорта и обесточивание города (в результате стихийных бедствий или сбоя в работе электростанций или электрических сетей), т.к. каждая станция моноСТЮ будет иметь аварийный дизель-генератор (для работы моноСТЮ достаточно иметь аварийную мощность в 50 кВт). Кроме того, каждый подвесной трамвай имеет аккумуляторы, которые позволят доехать ему по обесточенной линии до гаража-парка, попутно развозя при этом пассажиров.

Путевая структура моноСТЮ зимой не требует очистки от снега и льда (они крошатся, до мелких частиц, стальным колесом и сбрасываются им с рельса-струны), в то время как содержание в г. Москве проезжей части городских дорог в надлежащем состоянии, в условиях продолжительной зимы с обильными снегопадами, требует затрат в 500—600 тыс. руб. и более 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 моноСТЮ (100 лет) экономия на этом составит в бюджете г. Москвы около 50 млн. руб./км, что превышает стоимость строительства 1 км высотной рельсо-струнной путевой структуры моноСТЮ.

13.4. Новый уровень транспортной безопасности

Подъем подвесных трамваев СТЮ над поверхностью земли, на «второй уровень», резко повысит безопасность скоростного движения как в сравнении с традиционным трамваем, так и с автомобильной дорогой, размещённых непосредственно на поверхности земли (у них существует опасность столкновения с пешеходами, животными, различными транспортными средствами и т.п.).

Подвесной трамвай СТЮ снабжен противосходной системой и, в отличие от традиционного трамвая или обычного автомобиля, не может сойти с пути даже при внешних механических воздействиях, или, например, при землетрясении в 9—10 баллов по шкале Рихтера. Ему не опасны будут проливной дождь, ураганный ветер, туман, обильный снегопад, гололёд и т.п.

Корпус рельса-струны в СТЮ выполнен из высокопрочного алюминиевого сплава 01975*, используемого в космической технике, который прочнее многих конструкционных сталей, в том числе используемых в мостостроении. Сплав легко сваривается и не подвержен коррозии, что является его важным преимуществом при применении в природно-климатических условиях г. Москвы, учитывая достаточно влажный климат и наличие в парах воды различных техногенных агрессивных и химически активных загрязняющих веществ. Это гарантирует срок службы корпуса

* прессованные профили из этого сплава производятся на металлургическом комбинате в г. Верхняя Салда Свердловской обл.

рельса-струны не менее 100 лет, в то время как, например, канаты канатных дорог, подверженные внешним климатическим и механическим воздействиям, в том числе достаточно интенсивному износу, необходимо менять каждые 5—8 лет, останавливая при этом на достаточно длительный срок эксплуатацию всей транспортной системы.

Важным преимуществом предлагаемого алюминиевого сплава является его высокая прочность (он, например, используется в качестве брони на некоторых типах танков), поэтому рельс-струна выдержит выстрел из ружья и другого стрелкового оружия (например, в отличие от каната канатной дороги). Струна же, защищенная от агрессивного воздействия внешней среды и механических повреждений и износа, и набранная из оцинкованных высокопрочных стальных проволок, гарантированно прослужит в рельсе-струне не менее 100 лет.

Рельсо-струнный путь имеет 15—20-ти кратный запас прочности по внешним нагрузкам (в отличие, например, от традиционных мостов и эстакад, у которых запас прочности — 2—3-х кратный). Струны, выполненные из оцинкованной высокопрочной стальной проволоки диаметром 3—5 мм, дополнительно защищены в рельсе от коррозии высокопрочным герметиком на основе эпоксидной смолы, а от воздействия агрессивной внешней среды и механических повреждений — бронекорпусом.

По прочности, коррозии, износу и другим критериям, рельс-струна обеспечит 100-летний срок службы, поэтому не станет причиной аварий на СТЮ. В то время как изломы рельсов, деформации их креплений и шпал, просадки земляного основания на традиционной трамвайной линии, а дефекты асфальтобетонного покрытия и нижних слоев многослойной дорожной одежды — на автомобильной дороге, уже через несколько лет после введения традиционной транспортной системы в эксплуатацию, являются частыми причинами аварий.

Силовой несущий элемент в рельсе-струне моноСТЮ многократно продублирован. Например, в случае полного разрушения бронекорпуса рельса, все нагрузки будет нести струна, а в случае полного разрушения струны — бронекорпус. При этом лишь несколько возрастет деформативность пути (провисы рельса-струны, например, на пролёте длиной 200 м увеличатся на 1,5—2,5 м), но путь не обрушится и его можно будет даже эксплуатировать при пониженных скоростях движения

подвижного состава. Такими возможностями не обладает никакая другая известная транспортная система.

Показанный на рис. 4.1 и 4.2 рельс-струна имеет минимальное значение предварительного натяжения в 80 тонн (при максимальной температуре нагрева рельса на солнце, равной +55 °С). Из них 40 тонн придётся на струну и 40 тонн — на алюминиевый корпус с головкой рельса. Максимальные же усилия в конструкции будут при минимальной расчётной температуре в г. Москве: –35 °С. При этом уменьшение температуры провисающей (по параболической кривой) конструкции путевой структуры на 1 °С вызовет в струне увеличение растягивающих напряжений примерно на 20 кгс/см², или для перепада температур 90 °С (от +55 °С до –35 °С) — 1800 кгс/см². При поперечной площади струны, равной 4,7 см², это приведёт к увеличению растягивающих усилий в ней на $1800 \times 4,7 = 8460$ кгс = 8,5 тс. Увеличение напряжений в струне примерно на 450 кгс/см² при проезде подвесного трамвая по пролёту также вызовет дополнительное продольное усилие, равное $450 \times 4,7 = 2115$ кгс = 2,1 тс.

СНиП 2.05.03-84* «Мосты и трубы» допускает, например, в гладкой предварительно напряжённой высокопрочной проволоке диаметром 3 мм в городских эстакадах напряжения в 12050* кгс/см². При штатных режимах работы моноСТЮ максимальные растягивающие напряжения в струне (при –35 °С) будут равны: $\sigma_{\text{max.стр.}} = 40000 \text{ кгс/см}^2 / 4,7 \text{ см}^2 + 1800 \text{ кгс/см}^2 + 450 \text{ кгс/см}^2 = 10760 \text{ кгс/см}^2$, что на $12050 - 10760 = 1290 \text{ кгс/см}^2$ ниже допустимых. При этом предельно возможные напряжения в струне, равные напряжениям текучести $\sigma_{0,2} = 19690$ ** кгс/см², будут достигнуты при усилиях натяжения струны, равных $19690 \text{ кгс/см}^2 \times 4,7 \text{ см}^2 = 92543$ кгс = 92,5 тс. Только такое усилие способно порвать струну. В то же время при обрыве корпуса рельса-струны усилие, бывшее в нём, релаксируется до невысоких значений (порядка 10 тс), т.к. растянутый корпус сократит свою длину. Поэтому на струну перейдёт только около 10 тс усилия от

* см. табл. 31* на стр. 42 СНиП 2.05.03-84*

** данные лабораторных испытаний высокопрочной стальной проволоки диаметром 3 мм производства Волгоградского завода «ВолгоМетиз», пробная партия которой изготовлена в 2007 г. по заказу ООО «СТЮ»

разрушенного корпуса, а суммарное усилие в струне, в худшем случае (при температуре $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ и проезде гружёного трамвая) будет равно: $40\text{ тс} + 8,5\text{ тс} + 2,1\text{ тс} + 10\text{ тс} = 60,6\text{ тс}$, что на $31,9\text{ тс}$ ниже разрушающего усилия в струне, равного $92,5\text{ тс}$. Таким образом, при обрыве корпуса и головки рельса струна не оборвётся и гружёный подвесной трамвай, находящийся на аварийном пролёте, не только не рухнет на землю, но и в штатном режиме доедет до ближайшей станции. Чтобы описанная схема релаксации усилий в оборванном элементе рельса (в корпусе рельса или в струне) была реализована, композит 7 (см. рис. 4.2) не должен иметь слишком высокую адгезию к корпусу рельса и струне и позволять им, при возникновении критических продольных усилий, перемещаться вдоль друг друга, сокращая свою длину.

Аналогично, при полном разрушении струны в рельсе-струне (всех до одной высокопрочных проволок), усилие в дополнительные 10 тс возьмёт на себя высокопрочный корпус рельса. Напряжения текучести в высокопрочном сплаве алюминия 01975 равны $\sigma_{0,2} = 4500\text{ кгс/см}^2$, поэтому разрушающее усилие в корпусе рельса будет равно $4500\text{ кгс/см}^2 \times 20,0\text{ см}^2 = 90000\text{ кгс} = 90\text{ тс}$. Таким образом, всю нагрузку, в случае полного обрыва струны, возьмёт на себя корпус рельса даже в худшем варианте нагружения путевой структуры: при температуре воздуха $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ и проезде максимально груженого подвесного трамвая по аварийному пролёту.

Таким образом, в аварийных ситуациях струна имеет силовое дублирование, а именно — высокопрочный корпус рельса, а корпус рельса дополнительно дублируется струной. Кроме того, при наличии двух рельсов-струн в пути, один из них может быть полностью разрушен, но падения подвесного трамвая при этом на землю не произойдёт — он повиснет на оставшемся целым рельсе-струне.

Такого запаса прочности (15—20 раз) и такого многократного силового дублирования не имеет ни одно строительное сооружение самого высокого уровня ответственности.

По устойчивости к террористическим актам моноСТЮ превосходит все другие известные транспортные системы. Например, традиционный трамвайный рельс доступен любому злоумышленнику, т.к. находится непосредственно на поверхности

* по данным ОАО «Всероссийский институт лёгких сплавов», г. Москва

земли^{*}. Под такой рельс легко и незаметно, например, ночью, может быть подложена взрывчатка, которая может быть замаскирована и не будет обнаружена затем днём службой безопасности. Даже 100—200 граммов современных взрывчатых веществ достаточно, чтобы разрушить рельс (вся сила взрыва будет направлена вверх, в сторону рельса, т.к. снизу имеется твёрдая опорная поверхность — земля).

Путь моноСТЮ находится достаточно высоко над землёй (20 м и более), поэтому подложить под него взрывчатку невозможно, а тем более — незаметно. Один из возможных вариантов — каким-либо образом, на виду у всех, перебросить через рельс тонкий канат и подтянуть с его помощью взрывчатое вещество поближе к рельсу-струне. Однако взрыв даже 2—3 кг заряда на воздухе не приведёт к разрушению бронированного рельса-струны, т.к. сила взрыва уйдёт в стороны, в воздух. Поэтому террористу необходимо будет поместить взрывчатое вещество в металлическую оболочку, и сделать этот взрыв направленным в сторону рельса-струны. Всё это на большой высоте, в условиях отличной видимости и при наличии систем видеонаблюдения и безопасности, а также — при высокой частоте следования рельсовых автомобилей (менее 1 мин.), осуществить нереально.

Ещё имеется вероятность обстрела пути моноСТЮ из гранатомёта, но попасть в рельс-струну, имеющий малые размеры, с большого расстояния очень сложно. Но если, все же, тем или иным способом, террористам удастся разрушить^{**} в одном из

* чтобы сошли вагоны традиционного трамвая с рельсов их не обязательно взрывать — достаточно положить на рельсы костыль, болт, лом или любой другой тяжелый предмет. Кроме того, традиционный железнодорожный или трамвайный путь является не только сборным, но и разборным, а каждое колесо вагона имеет один гребень, поэтому для схода колеса (или колёсной пары) достаточно изменить колею на несколько сантиметров, например, сдвинув рельс в сторону. Очень часто это происходит из-за ослабления креплений рельсов, из-за бокового одностороннего давления гребня колеса на головку рельса, из-за температурного выброса рельсошпальной решетки в жаркую погоду, из-за деформаций щебеночной подушки или земляного полотна и т.п.

** разрушить такую многослойную конструкцию, как рельс-струна моноСТЮ, размещённую на большой высоте и выполненную из высокопрочных материалов, значительно сложнее, чем моноконструкцию, каковой, например, является железнодорожный рельс или канат канатной дороги, имеющий намного меньшие поперечные размеры в сравнении с рельсом-струной и не имеющий никакой механической защиты от внешних силовых воздействий

рельсов одновременно высокопрочные головку и корпус рельса, а также — несколько десятков высокопрочных проволок (каждая проволока выдерживает на разрыв усилие около 1,5 тонн для диаметра 3 мм и около 4 тонн — для диаметра 5 мм), то находящийся на аварийном пролете подвесной трамвай повиснет на оставшемся целым втором рельсе-струне и все пассажиры останутся живы.

Разрушение промежуточных опор, например, в результате землетрясения или террористического акта, не приведёт к разрушению и обрыву рельсо-струнной путевой структуры. Это приведёт лишь к увеличению пролёта и, соответственно, — провиса рельса-струны. При разрушении же нескольких опор подряд, путевая структура моноСТЮ, оставаясь неповреждённой, опустится на поверхность земли.

Трамвай моноСТЮ имеет 4 электродвигателя и даже в случае выхода из строя 3-х из них, сможет доехать до конца трассы, при снижении средней скорости движения (до 40 км/ч). При выходе же из строя только одного или двух двигателей из четырёх, трамвай доедет до конца трассы в штатном режиме, без снижения скорости движения, на исправных двигателях.

При выходе из строя всех 4-х ходовых электродвигателей, сзади идущий трамвай, в автоматическом режиме, снижает свою скорость, стыкуется с аварийным модулем и толкает его далее к станции назначения. Для чего все трамваи снабжены автоматическими стыковочными узлами, позволяющими стыковаться при относительной скорости до 3 км/ч. Каждый подвесной трамвай, при необходимости, может буксировать до 3-х аварийных трамваев.

Если же транспортная система «второго уровня» полностью станет неработоспособной (например, из-за военных действий), или будет существовать какая-либо неустранимая угроза здоровью и безопасности пассажиров, то на этот исключительный случай предусмотрены специальные эвакуационные мероприятия с использованием вертолёт, а также — специальные тросовые эвакуаторы альпинистского типа, которыми снабжен каждый трамвай, обеспечивающие поочередный спуск пассажиров на землю с высоты до 50 м.

При обесточивании линии подвесной трамвай сможет двигаться на аккумуляторах (запас хода до 10 км).

Благодаря своим уникальным характеристикам, трасса моноСТЮ практически не имеет ограничений по сезонным и погодным условиям. Эксплуатация СТЮ станет невозможна только тогда, когда скорость встречного ветра достигнет 200 км/час (двигателю трамвая будет недостаточно мощности, чтобы двигаться против ветра; при боковом же ветре трасса может эксплуатироваться при его скорости до 150 км/час), или если температура воздуха понизится до -70°C , что в условиях г. Москвы не реально*.

Не опасна для данной системы и вероятность обледенения путевой структуры, так как в месте контакта «стальное колесо — рельс-струна» происходит разрушение (до мелких частиц) и сбрасывание вниз намерзающего льда (в виде ледяной крупки), что было проверено экспериментально**. При высокой частоте следования трамваев СТЮ (около 1 минуты) на рельсе не успеет образоваться даже микронная плёнка льда. Если же трасса «второго уровня» длительное время не будет эксплуатироваться, то даже намерзание льда на рельсе-струне в количестве до 50 кг на погонный метр, или 10 тонн на один пролёт (что не реально) не приведут к обрушению рельсо-струнной путевой структуры и опор, т.к. они имеют 15—20-кратный запас прочности по нагрузкам.

Нигде в строительных сооружениях, в том числе в висячих и вантовых мостах, сегодня нет таких многократных запасов прочности, а в моноСТЮ он создаётся благодаря особенной, присущей только струнной системе, кинематической схеме нагружения струны внешними нагрузками (практически поперечными по отношению

* струна и корпус рельса устойчивы к воздействию низких температур. Например, предельно допустимые напряжения в струне, которые могут привести её к обрыву, наступят лишь при условной температуре, равной: $-35^{\circ}\text{C} - (19690 \text{ кгс/см}^2 - 10760 \text{ кгс/см}^2)/20 \text{ кгс/см}^2 \times ^{\circ}\text{C} = -480^{\circ}\text{C}$, что ниже температуры абсолютного нуля, равного -273°C (таких температур в Природе не существует). А, например, сплав алюминия 01975, который будет использован в головке и корпусе рельса моноСТЮ, не меняет своих механических свойств даже при температуре жидкого водорода.

** на испытательном полигоне СТЮ в г. Озёры Московской обл. искусственно был наморожен лёд толщиной 50 мм (в течение недели рельс поливали водой). При первом же проходе трамвая лёд был разрушен первым стальным колесом до контакта «сталь колеса — сталь головки рельса», поэтому следующие колёса двигались по чистому рельсу. Необходимо отметить, что трамвай при этом двигался вверх по пути, имеющему уклон 10% (или 100 ‰)

к струне). Из приведенного примера следует, что обрыв струны произойдет только в том случае, если по моноСТЮ поедет вместо расчётного подвесного трамвая весом, например, 8 тонн, транспортное средство, вес которого превышает 100 тонн (даже под этой нагрузкой рельс-струна не оборвется, а, растянувшись в упругой стадии, опустится до касания поверхности земли), либо если скорость ветра превысит 500 км/час, либо если ударит мороз ниже $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$, что нереально в существующих климатических условиях на территории России и в г. Москве.

Подвесной трамвай моноСТЮ имеет высокую устойчивость движения по путевой структуре благодаря противосходной системе, независимой подвеске каждого опорного колеса и высокой аэродинамичности корпуса. На действующих моделях масштаба 1:15, 1:10 и 1:5 моделировались различные аварийные ситуации. Например, сильный боковой ветер (более 200 км/час) и землетрясение силой до 10 баллов по шкале Рихтера, действующие одновременно, не приводят к сходу трамвая с рельсо-струнной путевой структуры.

Подвижной состав моноСТЮ может эксплуатироваться при ураганном ветре. Например, чтобы сбросить подвесной трамвай с пути, сила давления бокового ветра должна превысить прочность на срез боковых упорных роликов, для чего ветру необходимо иметь скорость более 500 км/час, что нереально в климатических условиях России.

Подвесной трамвай моноСТЮ имеет относительно небольшую вместимость, поэтому будет менее привлекательной целью для террористов, чем более многоместные автобусы, троллейбусы, трамваи, электрички, железнодорожные поезда, поезда метро или самолеты. Как менее привлекательны будут и станции моноСТЮ, небольшие по размеру, без концентрации пассажиров, в отличие от современных аэропортов, железнодорожных вокзалов или станций метро. При этом взрыв, если он будет произведен террористами в моно-юнибусе, не приведет к разрушению рельсо-струнной путевой структуры, т.к. взрывную волну воспримет и погасит прочный многослойный потолок с металлическим каркасом, поэтому взрывная волна пойдёт в направлении менее прочной конструкции — в стороны*.

* при этом разрушение стеклопластиковой оболочки корпуса и стекол, выполненных из высокопрочного поликарбоната, не даст травмоопасных фрагментов при их падении на землю

В России на дорогах (автомобильных и железных) ежегодно гибнет около 35 тыс. человек, причем этот показатель с годами ухудшается. В городах повышенную аварийность и гибель пассажиров и пешеходов на дорогах создают, в основном, автобусы, троллейбусы, трамваи, микроавтобусы. В среднем по стране за последующие 50—100 лет (срок службы моноСТЮ) на указанных дорогах общей протяженностью 800 тыс. км погибнет около 2—4 млн. человек и 20—40 млн. получают травмы, станут инвалидами и калеками, или на один километр протяженности дорог: 2—5 чел./км и 25—50 чел./км соответственно.

Аварийность на поднятой над землей на второй уровень рельсовой системе моноСТЮ будет значительно ниже, чем у современных скоростных железных дорог, проложенных по поверхности земли (например, по огражденным и поднятым над землей высокоскоростным железным дорогам Японии за 40 лет перевезено порядка 10 млрд. пассажиров и ни один из них не погиб). Цена 2—5 человеческих жизней и 25—50 случаев инвалидности людей на 1 км существующих наземных дорог превышает стоимость 1 км трасс моноСТЮ. Только одно это оправдывает строительство рельсовых дорог «второго уровня» на базе струнных технологий, как более безопасных и менее затратных, чем традиционные балочные конструкции пролётных строений.

13.5. Новый уровень экологической безопасности

Крупногабаритные, тяжелые, мощные автобусы, троллейбусы и трамваи являются основным источником транспортного шума в городах, а шум по вредному воздействию на здоровье городского жителя выходит в настоящее время на первое место. Источником шумов в трамвае являются стыки в рельсах, большая неподдресоренная масса стальных колес, колесной тележки и самого трамвая, неровный путь, уложенный на балластную подушку, массивный токосъём. У троллейбуса — мощный двигатель с редуктором, протектор шин, массивный токосъём. У моноСТЮ указанные источники шумов отсутствуют.

Существующий городской транспорт является источником вибраций почвы, что оказывает вредное воздействие не только на людей, но и на городские здания и

сооружения. МоноСТЮ не будет создавать вибраций почвы благодаря высокой ровности пути, отсутствию стыков в рельсе (он будет сварен в одну плеть), задемпфированности колеса, рельса-струны и железобетонных анкерных опор, малой неподдресоренной массе стального колеса модуля и малой массе самого модуля, а также благодаря тому, что рельсо-струнный путь поднят высоко над землёй.

Из-за большой массы подвижного состава существующего городского транспорта, приходящейся на одного пассажира, высокого сопротивления его движению (аэродинамическое сопротивление, сопротивление качению колеса, сопротивление, создаваемое в токосъёме), подвижной состав имеет избыточную мощность привода: 3—4 кВт и более на одного пассажира для автобуса, троллейбуса, трамвая (а при малой загрузке, что, в основном, и имеет место — 10—15 кВт/пасс.), 5—6 кВт/пасс. и более для микроавтобуса, 20—50 кВт/пасс. и более для такси и личных автомобилей. У модулей моноСТЮ (сухой вес около 2 тонн при вместимости 40 пасс.) потребная мощность двигателя составит 0,2—0,4 кВт/пасс. (в зависимости от расчётной скорости движения; большее значение относится к скорости 100 км/час), поэтому при одинаковой транспортной работе по расходу энергии моноСТЮ будет экономичнее и, соответственно, экологичнее существующего городского общественного транспорта в 6—8 раз, легковых автомобилей — в 40—50 раз и более.

МоноСТЮ является самым экологически чистым транспортом среди известных (в том числе в сравнении с троллейбусом и трамваем) благодаря стальному колесу и стальному рельсу (сопротивление качению колеса модуля ниже чем у резинового колеса троллейбуса в 15—30 раз), высокой аэродинамичности корпуса (в 5—6 раз лучше, чем у троллейбуса и трамвая) и меньшей материалоемкости подвижного состава, на разгон и торможение которого, в основном, и затрачивается энергия (50—60 кг сухого веса на пассажира, против 150—200 кг/пасс. у традиционного трамвая и троллейбуса). Соответственно, при одинаковой транспортной работе моноСТЮ меньше всего загрязнит городской воздух продуктами горения топлива (при использовании двигателя внутреннего сгорания) или меньше всего потребит электрической энергии (для электрифицированного варианта).

Автобусы и троллейбусы являются основными причинами разрушения асфальтобетонного покрытия городских улиц (из-за большой нагрузки на ось, частого торможения на светофорах и остановках и высокой температуры шин летом, когда асфальт и так размягчен солнцем), образования колеи и наплывов асфальта в районе остановок общественного транспорта. Это требует частых восстановительных работ, сопряжённых с ухудшением экологии.

Трамвайный путь ухудшает ровность дорожного полотна городских улиц, ослабляет дорожное покрытие, а на участке нахождения шпал дорожное полотно, как правило, устраивается сборно-разборным из железобетонных плит, что приводит к повышенному шуму при движении по нему городского автомобильного транспорта.

В отличие от троллейбусных и трамвайных линий моноСТЮ не требует традиционной дорогостоящей контактной сети с её многочисленными поддерживающими столбами, растяжками, мощными силовыми кабелями и электрическими подстанциями.

Контактная сеть трамвая и троллейбуса, нависающая низко над улицей, многочисленные растяжки, идущие не только к столбам, но и к стенам зданий, электроизоляторы, столбы на тротуарах ухудшают облик городской застройки, ее эстетическое восприятие, являются визуальным вторжением и представляют собой визуальную экологическую опасность.

13.6. Низкий уровень себестоимости транспортных услуг

Себестоимость транспортной услуги определяется амортизационными отчислениями на путевую структуру, станционные сооружения, оборудование и подвижной состав, издержками на эксплуатацию транспортной системы в целом и другими затратами, в том числе на заработную плату обслуживающего персонала.

Во всём мире сложилась практика отнесения недвижимых структурных элементов городской транспортной системы на баланс одних служб, а подвижного состава и связанных с ним эксплуатационных издержек — на баланс других служб. Поэтому определить реальную себестоимость перевозок пассажиров существующим

городским общественным транспортом ни в одном городе мира не представляется возможным*.

Тем не менее, реальная себестоимость проезда в моноСТЮ будет ниже заниженной себестоимости проезда в существующем городском пассажирском транспорте в 3—5 раз в силу его следующих преимуществ:

1) Большой срок службы рельсо-струнной путевой структуры (100 лет) и относительно невысокая её стоимость в сравнении с традиционной городской дорогой (улицей) предполагают невысокие амортизационные отчисления;

2) Благодаря высокой провозной способности один подвесной трамвай заменит 2—3 автобуса (троллейбуса, трамвая, эксплуатационная скорость которых составляет 14—16 км/час), поэтому его относительная стоимость даже в единичном производстве, с использованием дорогостоящих зарубежных узлов и агрегатов, будет невысокой и, соответственно, относительно невысокими будут амортизационные отчисления по подвижному составу;

3) Компактность пассажирских станций, гаражей-парков, обусловленная малыми размерами подвесных трамваев и их небольшим потребным количеством (один подвесной трамвай по провозной возможности заменит 2—3 и более автобусов или троллейбусов), отсутствие пешеходных переходов, перекрёстков, путепроводов, многоуровневых развязок и др. снижает стоимость транспортной инфраструктуры, амортизационные и эксплуатационные издержки по ней;

* Например, в себестоимости перевозок необходимо учитывать амортизационные отчисления на городские дороги и улицы, мосты, путепроводы, развязки, пешеходные переходы, в том числе надземные и подземные, станции, вокзалы, остановки, депо, гаражи, заправочные станции, электрические и др. сети и т.д.; в эксплуатационных издержках — ремонт и содержание городских дорог, перекрестков, пешеходных переходов, станций, вокзалов, остановок, уборку от снега зимой и от грязи летом и т.д.; необходимо учитывать и аренду дорогостоящей городской земли (отнятой под городскую транспортную систему в таких больших количествах, что может сложиться впечатление, что современные города созданы не для людей, а для автомобилей и других городских транспортных средств), а также экологические издержки за ухудшение условий проживания людей и издержки, связанные со смертью и травматизмом людей, домашних и городских животных в дорожно-транспортных происшествиях.

4) Отсутствие необходимости очищать путевую структуру от снега и льда зимой и от грязи летом, проводить ежегодные ремонтно-восстановительные работы по ней, значительно снижают дорожные эксплуатационные издержки в сравнении с традиционными городскими дорогами с быстроразрушающимся асфальтобетонным покрытием;

5) Конструктивная простота подвесных трамваев, надёжность и долговечность всех его агрегатов (например, планируемые к использованию электрические мотор-колеса производства Германии имеют один отказ на 1 млн. км пробега), отсутствие водителя, в 15—20 раз меньший расход энергии (топлива), в сравнении с автобусом (троллейбусом, трамваем), на одинаковую транспортную работу, на порядок снизят эксплуатационные издержки по подвижному составу;

6) Отсутствие земли, занимаемой транспортной системой (городскую землю займут здания-станции, имеющие другое, нетранспортное назначение) освободит землю под городскую застройку, что принесёт не дополнительные расходы, а наоборот — дополнительные доходы;

7) Высокая экологичность моноСТЮ в сравнении с любой другой городской транспортной системой (в том числе в сравнении с метро), высокие надёжность и безопасность эксплуатации системы в силу его принципиальных конструктивных, технологических и эксплуатационных отличий, по меньшей мере на порядок снизят издержки, обусловленные ухудшением городской среды обитания существующим городским транспортом, ущербом, наносимым им окружающей природной среде, городской застройке и здоровью людей, в том числе, связанных с травматизмом и гибелью людей в дорожно-транспортных происшествиях.