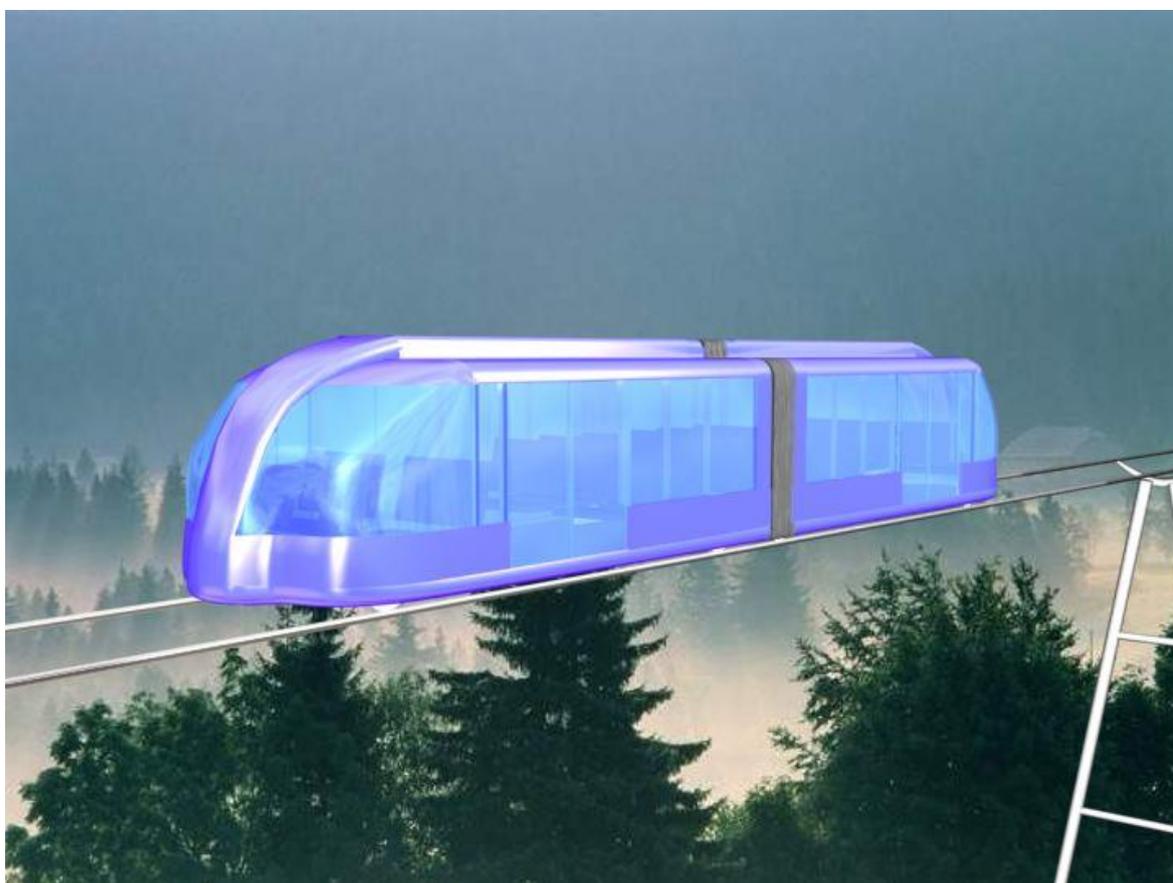


**ОАО «НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ
КОМПАНИЯ ЮНИЦКОГО»**

**ПРОЕКТНОЕ ПРЕДЛОЖЕНИЕ
ВЫСОКОСКОРОСТНАЯ СТРУННАЯ
ТРАНСПОРТНАЯ МАГИСТРАЛЬ**

“МИНСК – МОСКВА”



Москва 2002

Содержание

1. Струнная транспортная система	3
1.1. Принципиальная схема СТС	3
1.2. Линейная схема трассы	3
1.3. Путевая структура	6
1.3.1. Рельс-струна	6
1.3.2. Поддерживающий канат	7
1.3.3. Жёсткость путевой структуры	7
1.4. Опоры	9
1.5. Подвижной состав	12
1.5.1. Пассажирские транспортные модули	12
1.6. Вокзалы, станции и терминалы	16
1.7. Организация движения пассажиров и грузов	17
1.7.1. Посадка и высадка пассажиров	17
1.7.2. Движение по линии	17
1.7.3. Пропускная способность трассы	18
1.7.4. Время в пути	19
1.8. Безопасность и надёжность	19
1.8.1. Безопасность на вокзале	19
1.8.2. Безопасность движения на линии	19
1.8.3. Надёжность конструкции СТС и её функционирования	20
1.9. Технология строительства	21
1.10. Техничко-экономические показатели	23
2. Техничко-экономическое сравнение СТС с другими вариантами высокоскоростной трассы	27
2.1. Высокоскоростная железная дорога	27
2.2. Анализ возможности применения автотранспорта	29
3. Заключение	30

ПРОЕКТНОЕ ПРЕДЛОЖЕНИЕ

Высокоскоростная струнная транспортная магистраль “Минск-Москва”

1. Струнная транспортная система

1.1. Принципиальная схема СТС

Струнная транспортная система, в основу которой положены изобретения А.Э.Юницкого, представляет собой размещённую на опорах предварительно напряжённую растянутую канатно-балочную конструкцию, расположенную на высоте от 3 до 25 м, в зависимости от рельефа местности, препятствий, транспортных коммуникаций и магистралей, водных преград, лесных массивов, застройки населённых пунктов и др.

Отличительной особенностью пути являются струны, находящиеся в теле рельса и натянутые до суммарного усилия около 250 тс на один рельс. Струны жестко прикреплены к анкерным опорам, установленным через 500...2000 м, а путевая структура поддерживается промежуточными опорами, размещёнными через 25...100 м. Струны размещены в рельсе с прогибом в несколько сантиметров, увеличивающимся к середине пролёта и уменьшающимся до нуля над опорами.

Благодаря этому головка рельса, по которой движутся колёса транспортного модуля, в статическом состоянии не имеет прогибов и стыков по всей своей длине. Имея очень высокую ровность и жёсткость путевой структуры, СТС позволит достичь скоростей движения в 150 км/час и выше.

1.2. Линейная схема трассы

Линейная схема трассы показана на рис. 1.

Вариант прохождения трассы СТС "Минск – Москва" показан на рис. 2.

Оптимальное расстояние между промежуточными опорами - 50 м. При необходимости, на сложных участках, это расстояние может быть уменьшено до 10...20 м, или наоборот, увеличено до 100 м. При большей длине пролёта (современные материалы обеспечивают длину пролёта до 5000 м и выше) путевая структура должна поддерживаться с помощью вант или троса (по типу висячих мостов).

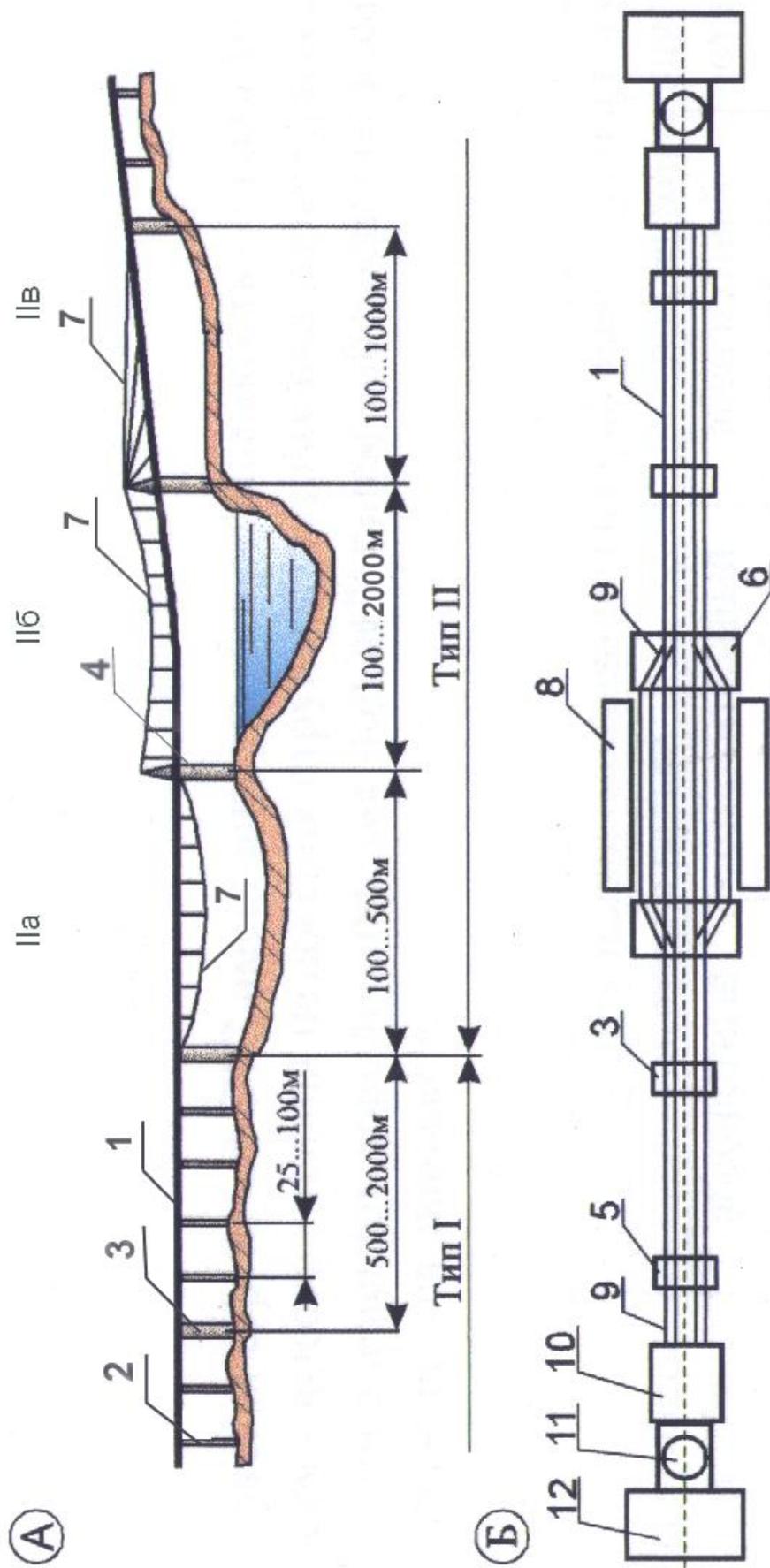


Рис. 1. Линейная схема трассы:

А – вид сбоку; Б – вид сверху; 1 – двухпутная путевая структура; 2 – поддерживающая опора; 3, 4, 5, 6 – анкерные опоры, соответственно: промежуточная, пилон, концевая, со стрелочным переходом; 7 – поддерживающий канат; 8 – промежуточная станция; 9 – участок трассы, выполненный из обычных рельсов (типа железнодорожных); 10 – концевой вокзал; 11 – поворотный круг; 12 – депо.

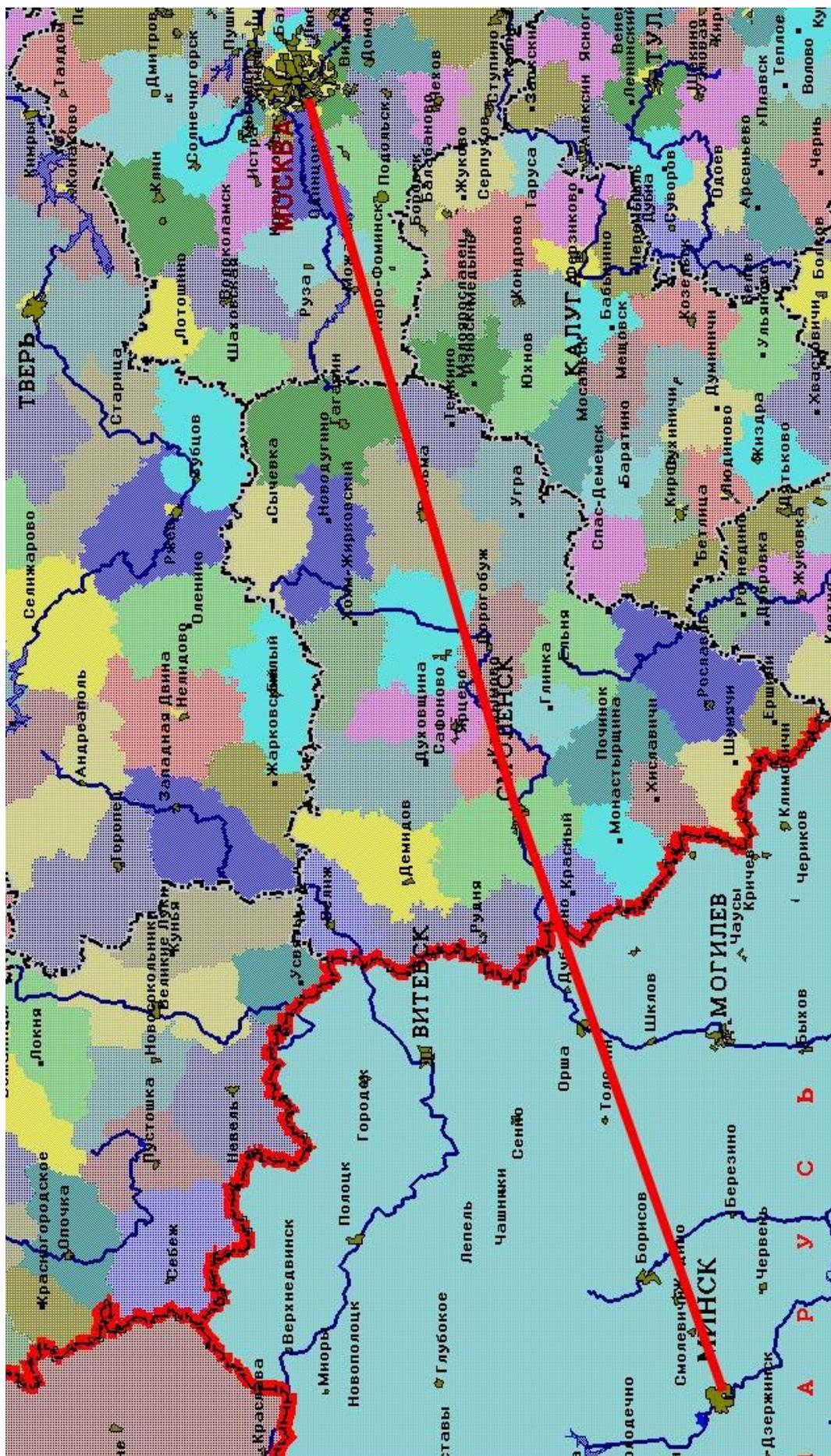


Рис. 2. Вариант прохождения трассы СТС "Минск – Москва"

Учитывая, что СТС не критична к рельефу местности, трасса может быть проложена по кратчайшему пути - по прямой линии.

При необходимости путевая структура может иметь кривизну как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях. Из соображений комфортности движения (перегрузки на кривых не должны ощущаться пассажирами), радиусы кривизны на магистральных участках трассы при скорости 150 км/час должны быть не менее 2 тыс. м.

1.3. Путевая структура

В зависимости от длины пролёта путевая структура СТС подразделяется на два характерных типа:

I - обычной конструкции (пролёт до 50 м);

II - с дополнительной поддерживающей канатной конструкцией (пролёт более 50 м) с размещением каната:

а) снизу;

б) сверху - с параболическим прогибом;

в) сверху - в виде вант.

1.3.1. Рельс-струна

Головка рельса-струны изготавливается методом проката из тех же марок стали и на том же оборудовании, что и железнодорожные рельсы. Поскольку контактные напряжения смятия в головке рельса-струны под колесом модуля будут в пределах 60...80 кгс/мм² (против 100...120 кгс/мм² в железнодорожном транспорте), то долговечность головки рельса будет в несколько раз выше, а износ – значительно ниже, чем у железнодорожных рельсов.

Каждый рельс имеет несколько струн (канатов) заводского изготовления, которые набраны из стальных проволок диаметром 3...6 мм и натянуты до суммарного усилия до 250 тс для одного рельса или соответственно – до 500 тс для путевой структуры и до 1000 тс для двухпутной трассы. В промежутке между анкерными опорами проволоки в струне размещены в защитной оболочке и не связаны друг с другом (они размещены в специальном антикоррозионном составе). Жесткое крепление струн осуществляется в анкерных опорах. Расчётные напряжения в канатах – 100 кгс/мм² (как и в канатах висячих и вантовых мостов и арматуре предварительно напряжённых железобетонных изделий).

1.3.2. Поддерживающий канат

Поддерживающий канат, как и струна в рельсе, набран из проволок (канатов), изготовленных из высокопрочной стали. Расчётные напряжения в проволоке канатов – 100 кгс/мм^2 . Проволоки помещены в защитный кожух, имеющий гидроизоляцию. Свободный объём каната заполнен специальным антикоррозионным наполнителем. Чем длиннее пролет, тем больше диаметр каната. Например, стальной канат диаметром 100 мм, благодаря низкой материалоемкости путевой структуры и её малому весу, обеспечит поддержание пролета СТС длиной в 1000...1500 метров.

1.3.3. Жёсткость путевой структуры

Путевая структура СТС имеет низкую материалоемкость - около 50 кг/м для рельса-струны, и, в то же время, - высокие усилия натяжения струн. Поэтому она характеризуется малыми прогибами элементов конструкции как под действием собственного веса (см. табл. 1), так и движущихся модулей.

Таблица 1

Прогибы конструкции СТС под действием собственного веса

Длина пролета, м	Статический (монтажный) прогиб элемента конструкции			
	струны в рельсе		поддерживающего каната	
	Абсолютный прогиб, см	Относительный прогиб	Абсолютный прогиб, м	Относительный прогиб
25	1,6	1/1600	-	-
50	6,3	1/800	-	-
75	14,1	1/530	-	-
100	25	1/400	0,25	1/400
250	-	-	1,56	1/160
500	-	-	6,25	1/80
750	-	-	14,1	1/53
1000	-	-	25	1/40

Струны будут иметь монтажный прогиб, скрытый внутри рельса. Так, при пролёте 25...50 м относительный прогиб струны по отношению к длине пролёта составит 1/1600...1/800, а абсолютный - 1,6...6,3 см. Такой прогиб легко размещается внутри рельса специальной конструкции, имеющего высоту 15...20 см.

В любом случае, описанные прогибы являются строительными и не влияют на ровность головки рельса, которая в ненагруженном состоянии является очень прямолинейной. Криволинейность пути в

вертикальной плоскости появится при движении подвижной нагрузки, а в горизонтальной плоскости - под действием ветра как на конструкцию СТС, так и на движущиеся модули. Максимальные статические прогибы, например, под действием веса неподвижного пассажирского модуля (6000 кгс), размещённого в середине пролёта, будут в пределах: $1/800$ для рельса и $1/2400$ - для пролёта с поддерживающим канатом. Динамические прогибы конструкции при скоростях движения модуля 150 км/час будут несколько ниже указанных значений (в пределах $1/1000...1/2500$, или в абсолютном выражении - в пределах 20...50 мм для пролёта 50 м). Приведенные данные свидетельствуют о том, что СТС является более жёсткой конструкцией (по отношению к подвижному составу), чем рельсовый железнодорожный путь, мосты и путепроводы на железных и автомобильных дорогах, относительный прогиб которых под действием расчетных нагрузок значительно выше ($1/400$).

Исследованы и определены конструктивные особенности путевой структуры и режимы движения модулей, при которых отсутствуют резонансные явления в рельсе-струне. Более того - колебания пути будут возникать и оставаться позади движущегося модуля, гаснуть за 0,1...0,5 сек., а следующий за ним модуль будет двигаться по невозмущенному, идеально ровному полотну.

Изменение температурных деформаций рельса-струны компенсируется изменением температурных напряжений и, вследствие этого, - изменением относительного прогиба пролёта при неизменном расстоянии между опорами, что не окажет существенного влияния на ровность путевой структуры. Струна и головка рельса при этом не будут иметь деформационных швов по длине, а их поведение при изменении температуры аналогично поведению телефонного провода или провода линии электропередач, которые также как и струны в рельсе подвешены к опорам с прогибом и тянутся без стыков на многие километры. Изменение температуры от $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (зимой) до $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (летом) приведет к изменению относительного прогиба пролёта в пределах $1/10000$, что практически не отразится на ровности пути. При этом напряжения растяжения в струне и головке рельса увеличатся зимой примерно на 10 кгс/мм^2 , а летом, наоборот, - уменьшатся на те же 10 кгс/мм^2 . При меньшем перепаде температур напряженно-деформированное состояние рельса-струны будет изменяться в меньшей степени.

Учитывая низкую парусность конструкции СТС и модулей, относительный прогиб путевой структуры СТС под действием бокового ветра, имеющего скорость 150 км/час, составит величину $1/10000...1/5000$, что не окажет существенного влияния на функционирование транспортной линии.

На ровность пути будет также влиять образование льда на поверхности элементов конструкции СТС при отрицательных

температурах воздуха. Однако, учитывая малые поперечные размеры рельса-струны, обтекаемость, наличие высокочастотных и низкочастотных колебаний и других факторов, затрудняющих образование наледи, её можно вообще избежать. Как показали испытания на опытном участке трассы СТС в г.Озёры Московской области, лёд на головке рельса толщиной до 10 мм не является препятствием для колеса модуля, так как при первом же проезде он скалывается и осыпается благодаря высоким контактными напряжениям в паре «колесо-рельс».

1.4. Опоры

Несущая конструкция опор подразделяется на два характерных типа (рис. 3):

а) анкерные опоры, которые воспринимают горизонтальные усилия от струнных и тросовых элементов СТС;

б) поддерживающие опоры, воспринимающие только вертикальную нагрузку от веса путевой структуры СТС и модулей.

Анкерные опоры, в зависимости от рельефа местности, будут размещены с шагом 0,5...2 км. Максимальные горизонтальные нагрузки испытывают только концевые анкерные опоры, устанавливаемые в местах размещения стрелочных переводов, т.е. там, где рельс-струна имеет поперечный разрыв (на них действует односторонняя нагрузка): до 1000 тс для двухпутной и до 500 тс для однопутной трассы. Промежуточные анкерные опоры (они составят более 90% от всего количества анкерных опор) не будут испытывать значительных горизонтальных нагрузок в процессе эксплуатации трассы, т.к. усилия, действующие на опору с одной и другой стороны, уравниваются друг друга.

Поддерживающие опоры, в зависимости от рельефа местности, будут установлены с шагом 25...150 м (оптимальное расстояние между ними 50 м).

Фундаменты анкерных и промежуточных опор, в зависимости от нагрузок на них и конкретных инженерно-геологических условий, могут выполняться:

- из железобетона (буронабивные или буроналивные сваи с предварительным обжатием основания, забивные сваи сплошного или полого сечения, столбчатые или плитные фундаменты на естественном основании, сплошные понтонного типа при слабых грунтах и др.);
- из металла (бурозабивные, бурозавинчиваемые).

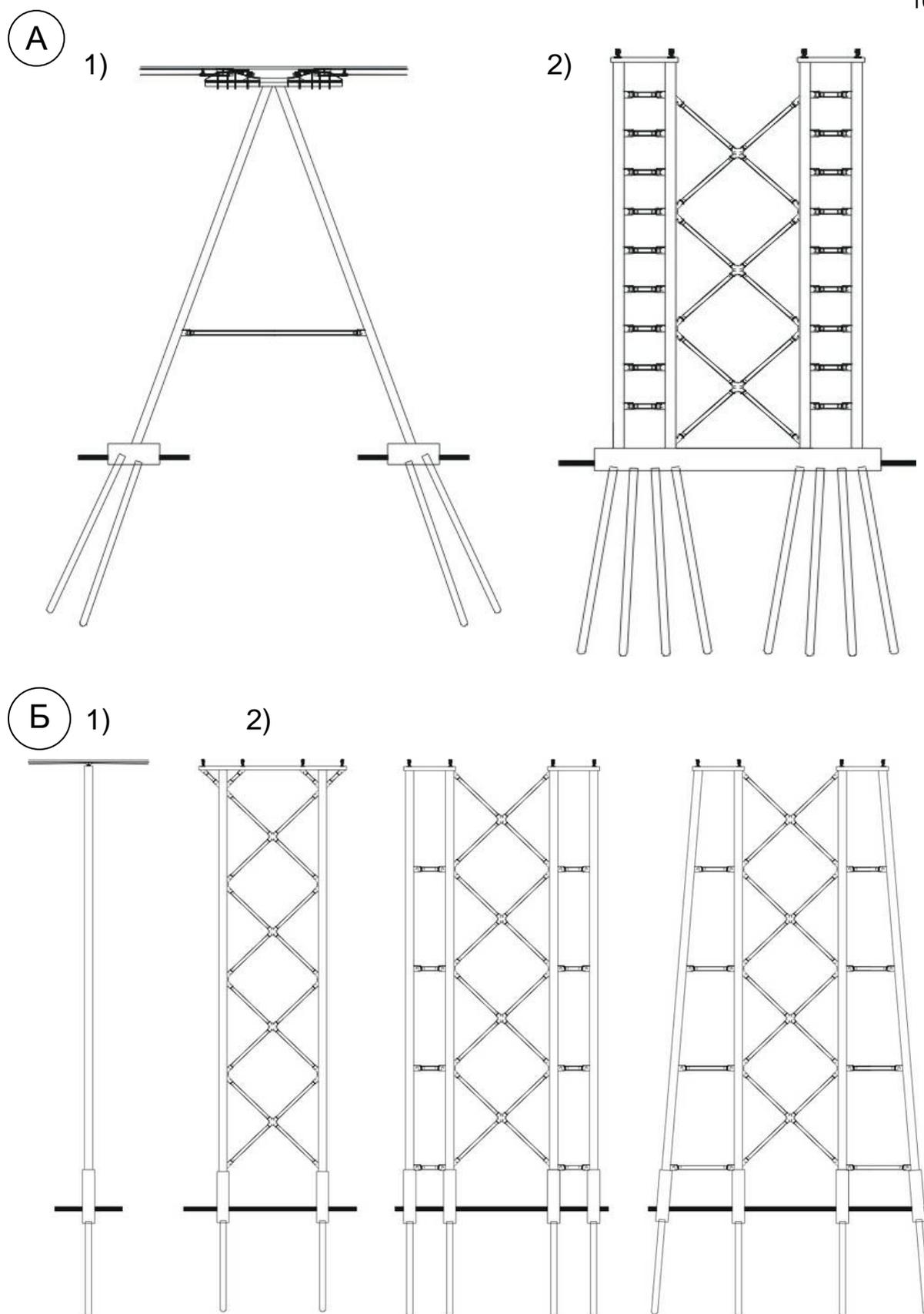


Рис. 3. Варианты конструкции опор двухпутной трассы:
 А - анкерная опора трассы СТС; Б - промежуточная опора трассы СТС;
 1) вид сбоку; 2) поперечный разрез.

Высота опор будет зависеть от рельефа местности и схемы прокладки продольного профиля трассы.

Варианты выполнения трасс СТС показаны на рис. 4.

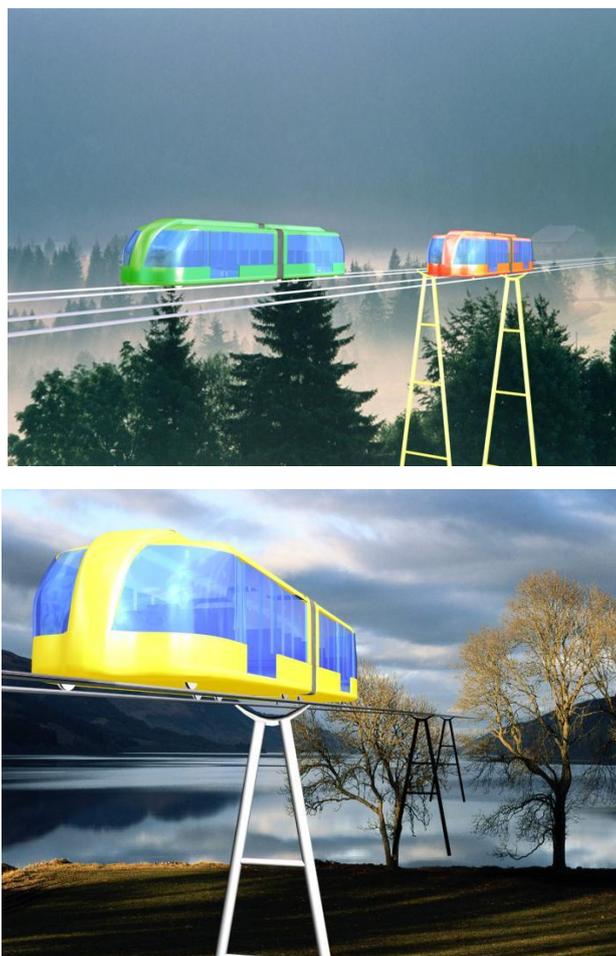


Рис. 4. Варианты выполнения трасс СТС

Поддерживающие опоры испытывают невысокие вертикальные, поперечные и продольные нагрузки (продольные усилия, возникающие, например, при торможении модулей, передаются через рельс-струну на анкерную опору). Поэтому опоры характеризуются малыми поперечными размерами, небольшим фундаментом и, соответственно, - займут небольшие участки земли и потребуют невысоких объёмов земляных работ. Это очень важно, так как приобретение земли под строительство всегда затрагивает чьи-либо имущественные права и является достаточно серьёзной проблемой. Над особо ценными землями трасса СТС, при необходимости, может пройти одним пролётом (длиной до 2000 м) на высоте 50...100 м и не потребует землеотвода. Поскольку СТС является “прозрачной” конструкцией (почти не будет давать тени), будет экологически чистой и характеризуется низким уровнем шума, она может проходить над жилыми застройками, заповедниками, заказниками и т.п.

1.5. Подвижной состав

1.5.1. Пассажирские транспортные модули

В качестве подвижного состава для перевозки пассажиров по трассе будут эксплуатироваться специально разработанные и изготовленные пассажирские модули «Юнибусы». Такие модули с целью максимальной унификации строятся по блочному принципу. Каждый модуль состоит из трех блоков: агрегатного и двух пассажирских. Агрегатный блок располагается в середине модуля, он имеет небольшую длину, и служит в основном для размещения двигательной установки. На раму агрегатного блока опираются обращенные к середине модуля концы пассажирских блоков (рис. 5).

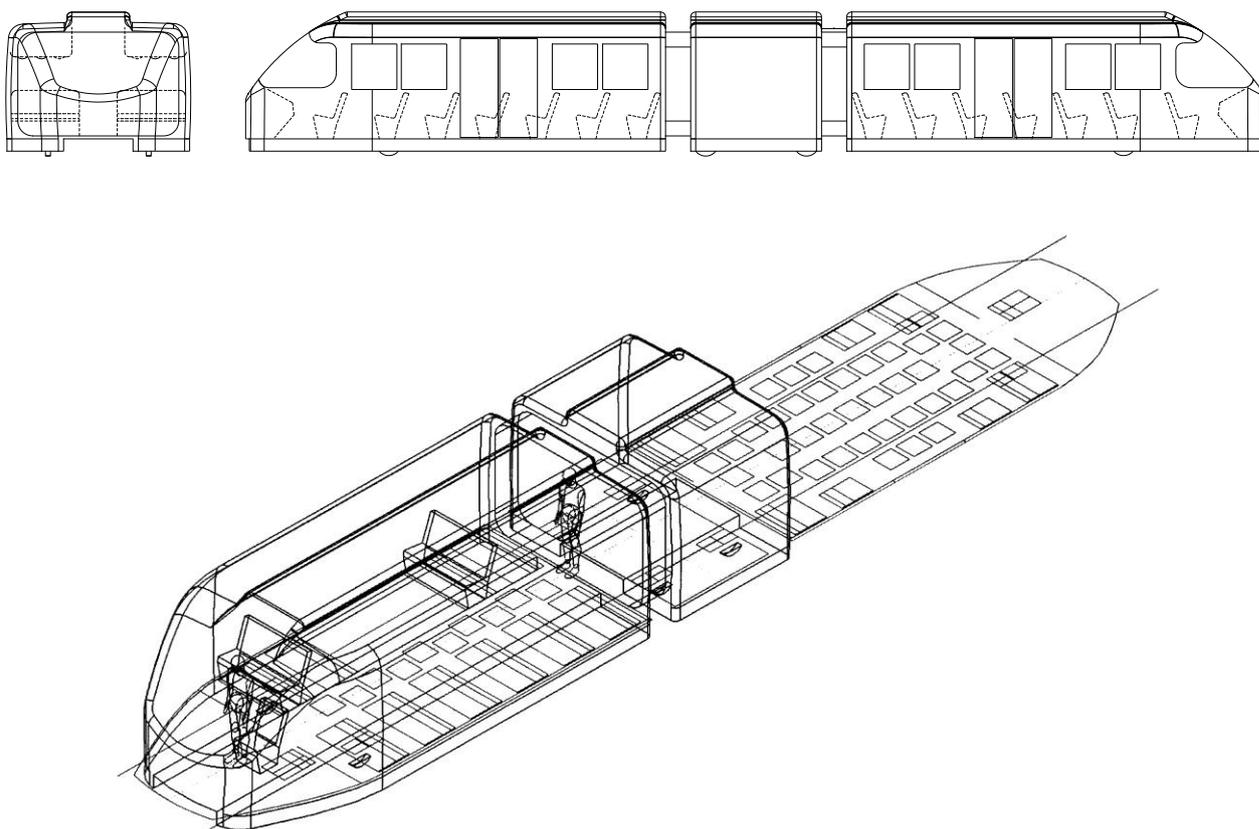


Рис. 5. Общая компоновка пассажирского модуля вместимостью 85 чел.

В качестве двигательной установки используется дизельный двигатель с автоматической коробкой передач - Detroit Diesel 40 E 8.7 мощностью 224 кВт, который устанавливается в агрегатном блоке продольно, у одной из боковых стенок. Над двигателем располагаются агрегаты охлаждения двигателя, системы питания, выхлопа, установка кондиционирования воздуха и т.п. Посередине агрегатного блока

имеется достаточно широкий проход, соединяющий передний и задний пассажирские блоки. С другой стороны прохода могут располагаться вспомогательные помещения: туалеты, багажный отсек.

Несущая система пассажирского блока состоит из продольных элементов (лонжеронов, стрингеров) и поперечных (шпангоутов). Она может быть выполнена сборной из алюминиевых профилей, связанных обшивкой из алюминиевого листа, или формованной заодно с обшивкой из композитных материалов на основе трехслойных панелей («сэндвич»). Конструктивно корпус пассажирского блока выполняется из поперечных секций, имеющих окна или дверные проемы. В зависимости от назначения модуля корпус набирается из различных комбинаций таких секций. Соединение секций между собой производится на шпангоутах. Концевые секции – передняя и задняя – собираются отдельно и также на шпангоутах соединяются со средней частью пассажирского блока. Внешние очертания концевых секций определяются соображениями аэродинамики и эстетики (рис. 6).

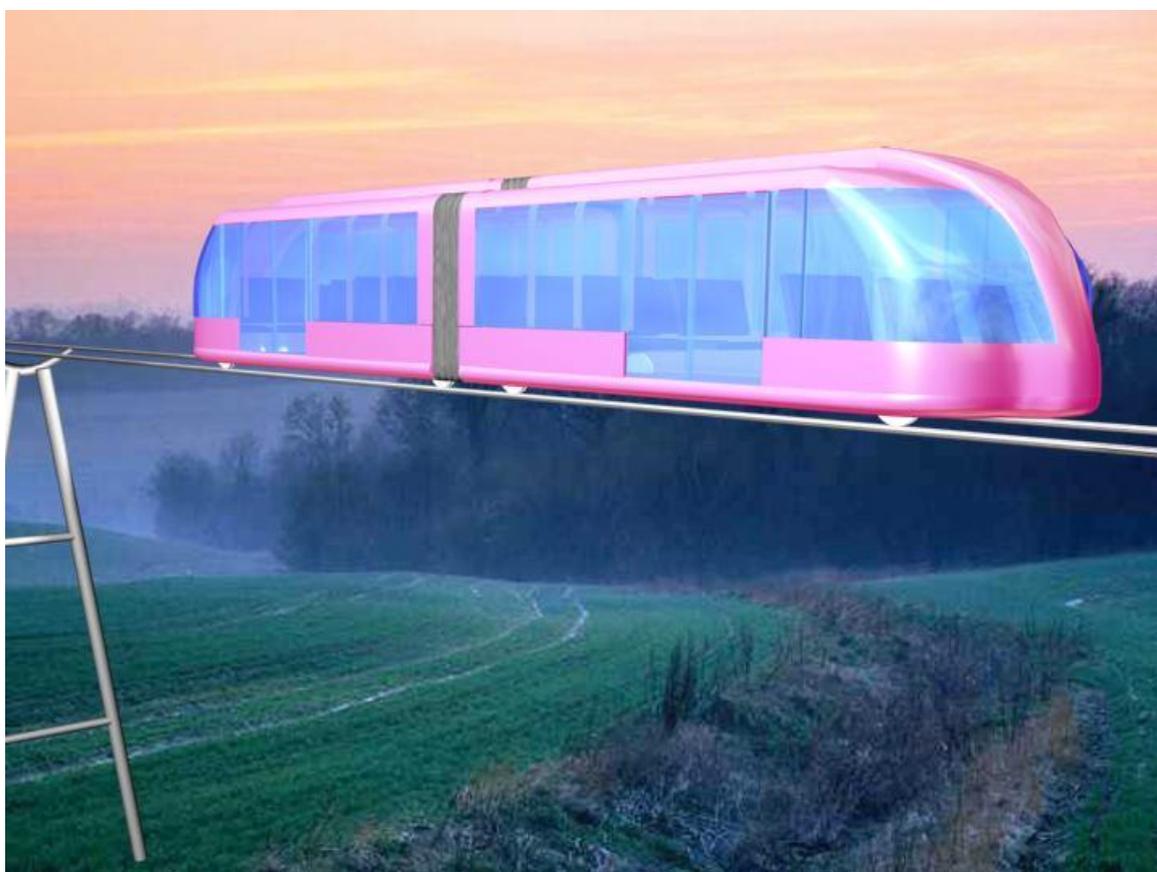


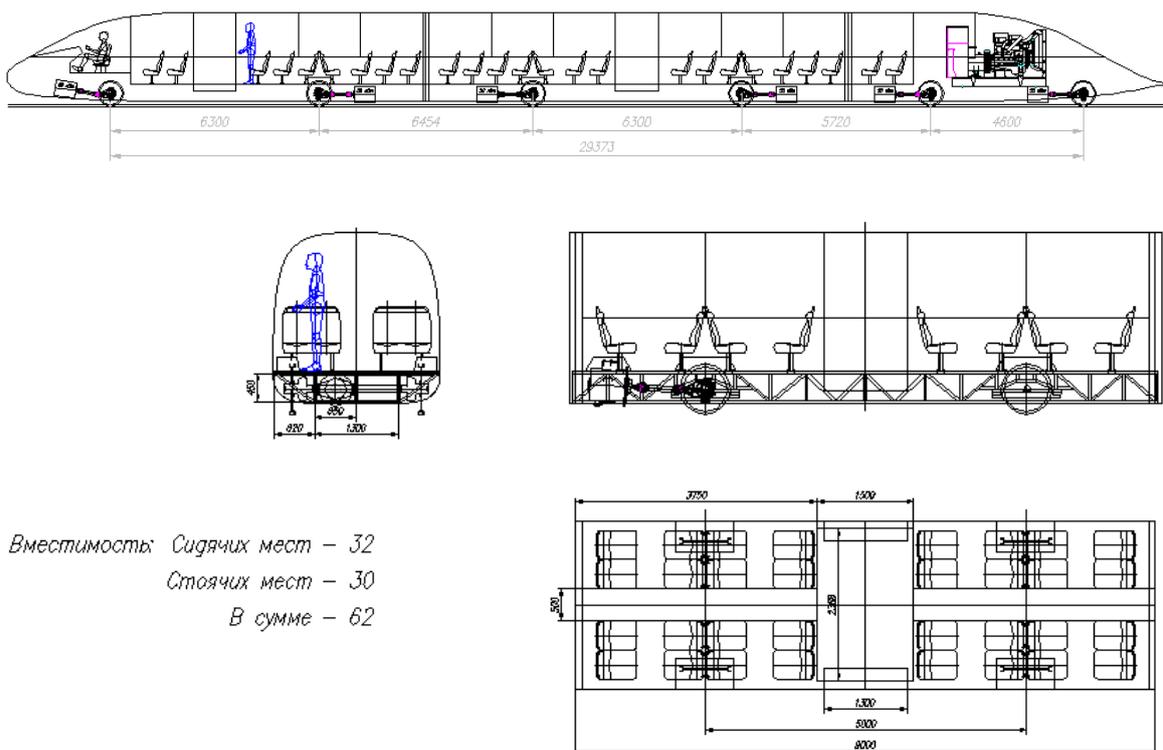
Рис. 6. Пассажирские модули на трассе

Под полом пассажирского блока нет никаких механизмов, что позволяет получить высоту пола 170 мм от головки рельса при клиренсе

(дорожном просвете) 100 мм. Такая низкая высота пола позволяет организовать станции без перронов, облегчает и ускоряет вход-выход пассажиров. Высота пола агрегатного блока от головки рельса – 420 мм, поэтому между полом пассажирского и агрегатного блоков организованы наклонные пандусы с перепадом высот 250 мм. Подвеска модуля – пневматическая, с регулируемой высотой, что позволяет на остановках опускать весь модуль на 100 мм, что еще более облегчает вход-выход пассажиров.

На случай остановки транспортного модуля на трассе СТС из-за отказа двигателя или иного агрегата, если при этом сохраняется возможность перемещения неисправного модуля способом буксировки, каждый модуль имеет в передней и задней частях стыковочные узлы для возможности присоединения следующего перед ним или позади него модуля. Соединение происходит автоматически при простом контакте модулей, без применения каких-либо дополнительных деталей или действий, даже при полном отказе бортовой и электрической сети неисправного модуля.

Кроме «Юнибусов» будут использоваться скоростные пассажирские поезда (рис. 7).



Вместимость: Сидячих мест – 32
 Стоячих мест – 30
 В сумме – 62

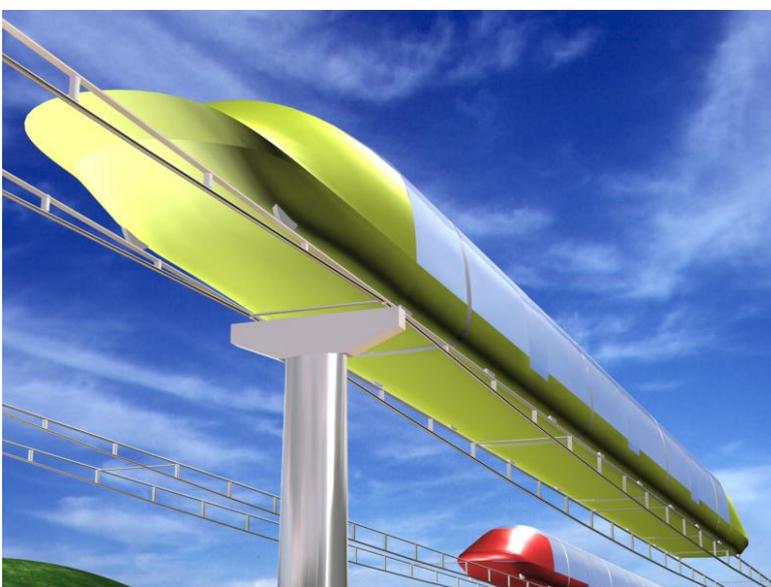


Рис. 7. Скоростной пассажирский поезд на трассе

Такой поезд может состоять из 6 вагонов и вмещать до 360 пассажиров одновременно.

1.6. Вокзалы, станции и терминалы

Вокзалы будут иметь кольцевую форму с подвижным (вращающимся) перроном (рис. 8) или полом. Диаметр вокзала - около 60 м. При высоких пассажиропотоках (свыше 100 тыс. пассажиров в сутки) диаметр вокзала может быть увеличен до 100 метров и более.

Промежуточные станции со значительным пассажиропотоком будут иметь стрелочные переводы и навесы, что позволит организовать движение модулей на них независимо от расписания движения по трассе. Станции, где количество пассажиров невелико, выполнены в виде открытых площадок (платформ) на трассе. Посадка (высадка) пассажиров на них осуществляется торможением одиночных модулей, имеющих неполную загрузку.

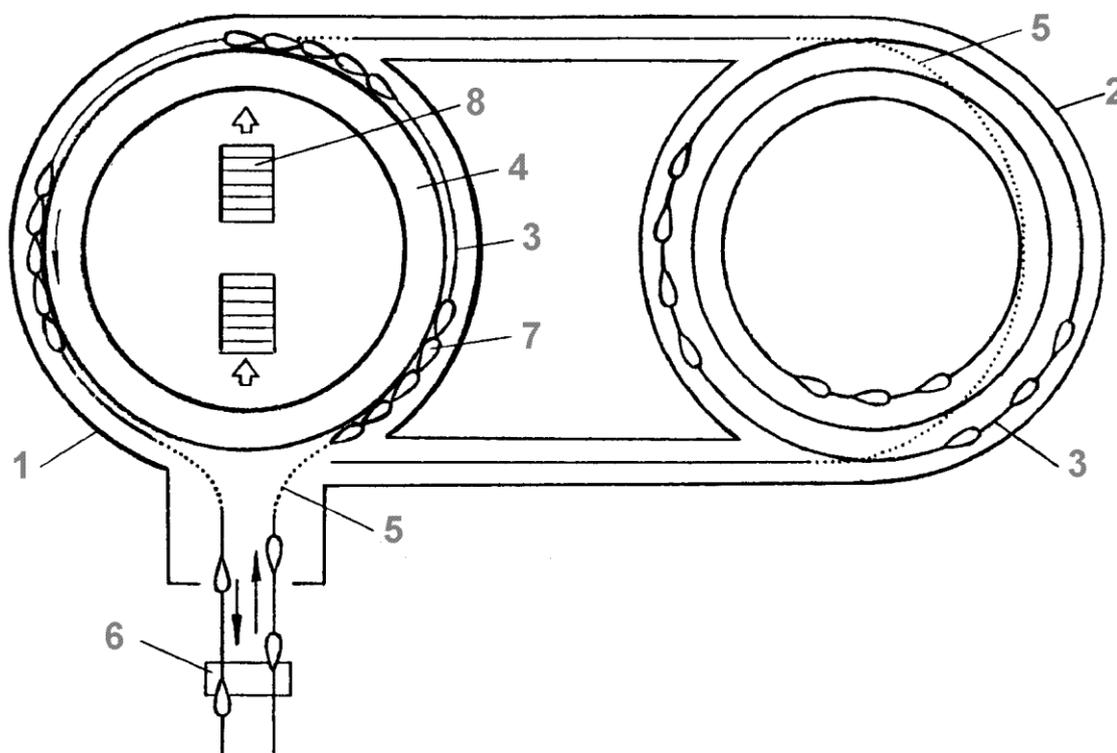


Рис. 8. Вокзал.

1 - здание вокзала; 2 - здание депо; 3 - кольцевой путь; 4 - кольцевой подвижный перрон; 5 - стрелочный перевод; 6 - конечная анкерная опора; 7 - модуль; 8 - вход (выход) в вокзал.

1.7. Организация движения пассажиров

1.7.1. Посадка и высадка пассажиров

Войдя в зал вокзала, пассажир обращает внимание на светящиеся табло, которые сопровождают каждый модуль (табло находятся на модуле, либо на стене зала в виде движущейся строки), на которых высвечивается название станции назначения, например, “конечная”. Не найдя нужной станции назначения пассажир может сесть в свободный модуль и нажать кнопку "конечная" на пульте управления (внутри модуля). При скорости движения подвижного перрона 0,5 м/с (с “пристыкованным” к нему модулем) и диаметре кольцевого пути 50 метров у пассажиров будет 0,5...2,5 мин. времени на посадку. После закрывания салона (автоматически или вручную) модуль “отстыковывается” от подвижного перрона и переключением стрелочного перевода выводится на линию. Если по каким-либо причинам салон не был закрыт, либо в модуль никто не сел, он возвращается на второй круг. Аналогично, только в обратной последовательности, осуществляется высадка пассажиров на станции назначения. В общем виде эта схема напоминает схему получения багажа на кольцевых транспортерах современных аэропортов. Некоторые модули, при необходимости, направляются в гараж-мастерскую, находящуюся в отдельном здании, либо на другом этаже вокзала.

1.7.2. Движение по линии

На всем пути следования система управления, подобно водителям автомобилей в транспортном потоке, поддерживает одинаковой скорость в группе модулей и расстояние между ними. Для обеспечения на одной линии пассажиропотока в 1000 пас./час с вокзала каждые 3 минуты должен выходить один эшелон из 5 модулей. При среднеходовой скорости движения 400 км/час среднее расстояние между эшелонами на трассе составит 20 км. Этого расстояния достаточно для выполнения маневров по посадке (высадке) пассажиров на промежуточных станциях. Подвижной состав будет формироваться как на станции посадки, так и путем присоединения к нему модулей с промежуточных станций (спереди или сзади). Поэтому система управления будет не только выпускать модуль на линию, но и регулировать нахождение подвижного состава на ней, согласовывая таким образом их “стыковку” во времени. Для этих целей некоторые станции на выпускающих участках могут иметь специальные накопители. Скорость подвижного состава будет регулироваться от

200км/час (на крутых подъемах) до 400...450 км/час на горизонтальных участках и спусках. Управление движением осуществляется с помощью линейных и центрального компьютеров, в которые стекается информация о месте нахождения, скорости движения, станции назначения и состоянии всех основных узлов (в первую очередь ходовой части и привода) каждого модуля. Современные программы управления позволяют эффективно формировать транспортный поток при обеспечении стопроцентной безопасности, т.к. в управлении движением модулей в СТС человек отсутствует.

Для управления модулями на линии может, например, использоваться система, подобная разработанной в Японии для самоуправляемого автомобиля “Мицубиси”. В каждом модуле совместно будут работать три бортовые системы: телевизионная, инфракрасная и ультразвуковая. Принимая и анализируя специальный сигнал от модуля, идущего впереди, бортовой компьютер следующей позади машины устанавливает для себя подходящую скорость и расстояние между ними. Кроме этого модули будут обмениваться друг с другом, с линейной и центральной компьютерными системами информацией о месте нахождения, скорости движения, состоянии путевой структуры, опор, стрелочных переводов, наличии неровностей, дефектов пути и т.п. Бортовая компьютерная система будет собирать данные от встроенных чувствительных датчиков, теле- и инфракрасных камер, механических устройств, обрабатывать эти данные с помощью нескольких микрокомпьютеров. А затем посылать соответствующие команды в различные исполнительные механизмы. Исполнительные операции, связанные с маневрами, которые могут повлиять на движение транспортного потока на линии, автоматически согласовываются с линейной компьютерной системой, размещенной по трассе.

1.7.3. Пропускная способность трассы

При формировании подвижного состава из десяти десятиместных модулей, скорости движения 400 км/час, интервале движения составов 30 секунд, пропускная способность одной линии в час пик составит 12000 пасс./час, а трассы (двух разнонаправленных линий) - 24000 пасс./час (576 тыс. пасс./сутки). При этом у трассы будет резерв увеличения пропускной способности без строительства дополнительных линий.

Реальный объем пассажироперевозок будет на порядок ниже, поэтому трасса будет эксплуатироваться с 10 %-ной загрузкой, что, в конечном итоге, повысит надёжность и безопасность эксплуатации транспортной системы.

1.7.4. Время в пути

Таблица 2

Время, затрачиваемое пассажиром на дорогу из центра г. Минск в центр г. Москвы (710 км)

№ п/п	Наименование транспортного процесса	Время, мин
1	Ожидание модуль	1
2	Посадка пассажиров	2
3	Ожидание поездки	1
4	Включение модуля в транспортный поток	1
5	Разгон до скорости 400 км/час	3
6	Движение по трассе	105
7	Торможение модуля	2
8	Въезд в вокзал	1
9	Высадка пассажиров	1
10	Непредвиденные затраты времени	3
Всего:		120

1.8. Безопасность и надежность

1.8.1. Безопасность на вокзале

Безопасность пассажиров обеспечивается за счет синхронизации скорости движения модуля и подвижного кольцевого перрона, например, путем их механического скрепления друг с другом. Для обеспечения пассажиропотока в 2000 пасс./час скорость движения перрона должна быть 0,3 м/с, при этом полный оборот перрон сделает за 8,7 мин. (при его внешнем диаметре 50 м).

Электробезопасность обеспечивается за счет использования на вокзале и станциях безопасного электрического напряжения (12 или 24 Вольт).

1.8.2. Безопасность движения на линии

Безопасность движения обеспечивается безотказностью функционирования всех систем, задействованных в обеспечении штатного режима движения модулей: программных средств управления, надежности электронных систем, линий связи и контрольно-измерительной аппаратуры, исполнительных механизмов стрелочных переводов и систем управления приводом и тормозной системой модулей, надежностью механических элементов путевой структуры, опор СТС и т.п. О том, что может быть обеспечена стопроцентная безопасность указанных транспортных процессов, свидетельствует история эксплуатации скоростных железных дорог в мире. Например,

более чем за двадцатилетний период эксплуатации скоростных железных дорог в Японии, по которым перевезено около 5 млрд. пассажиров, не произошло ни одного крушения, приведшего к человеческим жертвам.

В СТС будет предусмотрено 4 режима торможения модулей: служебное (ускорение 1 м/с^2 , тормозной путь 2400 м), экстренное ($2,5 \text{ м/с}^2$, тормозной путь 960 м), аварийное (10 м/с^2 , 240 м) и экстремальное (50 м/с^2 , 50 м). Аварийное и экстремальное торможение осуществляется с использованием всех тормозных систем, в том числе парашютов, которыми снабжён каждый модуль. При этом, одновременно со срабатыванием пиропатрона, который выбрасывает парашют, в пассажирском салоне сработают воздушные подушки безопасности, которые исключают смертельное травмирование пассажиров при указанных перегрузках (максимальные перегрузки будут примерно равны тем, которые испытывают пассажиры легкового автомобиля при ударе в неподвижное препятствие на скорости 25 км/час).

1.8.3. Надежность конструкции СТС и ее функционирования

Наиболее напряженными в СТС являются тросовые и струнные элементы рельсов и поддерживающих конструкций. Поскольку они находятся в антикоррозионной среде и защищены от внешних воздействий специальной оболочкой и механически прочным корпусом, срок их службы может составить сотни лет. Тем более, что подвижная нагрузка изменяет напряженно-деформированное состояние указанных элементов всего на 1%, поэтому можно считать, что они находятся весь период эксплуатации в практически неизменном напряженном состоянии, что исключает накопление усталостных повреждений и в результате повышается срок службы и снижаются эксплуатационные расходы. Поскольку струнные элементы рассредоточены в разных местах, удаленных друг от друга (изолированные друг от друга проволоки в струнах левого и правого рельсов, прямой и обратной линии, верхней и нижней струн и др.), вероятность одновременного их обрыва во всех указанных элементах близка к нулю даже в случае катастроф, таких как землетрясение, наводнение, военные действия и т.п. При частичном же обрыве несущих проволок, даже если их число составит 90%, не произойдет обрушения конструкций, чего, например, не скажешь о других типах строительных сооружений, таких как мосты, тепловоды, виадуки, современные каркасные здания и т.п.

Путевая структура СТС имеет очень высокую живучесть и в случае обрушения опор - например, из-за террористического акта. Падение опоры, которая связана с путевой структурой с помощью

специального отстегивающегося механизма, приведет лишь к увеличению пролета рельса-струны и, соответственно, его прогиба. Это не нарушит целостность пути, даже если будут разрушены все промежуточные опоры, размещенные между соседними анкерными опорами (двадцать опор подряд).

Результаты продувки корпуса модуля СТС в аэродинамической трубе при скорости 250 км/час показали, что при самых неблагоприятных направлениях бокового ветра, имеющего скорость 100 км/час, возникают боковые опрокидывающие усилия в пределах 100 кгс. Это не отразится на функционировании транспортной системы и, тем более, не приведет к сходу модуля с рельсов.

1.9. Технология строительства

Заранее изготовленную струну растягивают с помощью технологического оборудования до заданного значения (в качестве контрольного параметра используют усилие натяжения или удлинение струны при растяжении) и жёстко прикрепляют её концы, например, сваркой, к анкерным опорам. Промежуточные опоры устанавливают предварительно, либо в процессе натяжения струны, либо после натяжения. После установки промежуточных опор и натяжения струн по ним пускают технологическую платформу, которая может самостоятельно перемещаться и жёстко фиксировать своё положение относительно опор. С помощью платформы последовательно, пролёт за пролётом, устанавливают полый корпус рельса, фиксируют его в проектном положении, заполняют заполнителем, устанавливают головку рельса, поперечные планки и выполняют другие работы, необходимые по устройству путевой структуры. Все эти работы легко поддаются механизации и автоматизации и могут выполняться круглосуточно в любую погоду. Благодаря этому будет обеспечена высокая скорость поточного строительства СТС, его низкая трудоёмкость и себестоимость. Для устранения микронеровностей и микроволнистости рабочих поверхностей смонтированной головки рельса и её поперечных беззазорных стыков возможна их сошлифовка по всей длине транспортной системы.

Строительство СТС может осуществляться также с помощью специального строительного комбайна, когда струна и другие напрягаемые элементы рельса натягиваются не на анкерную опору, а на комбайн. Комбайн, двигаясь вдоль трассы с помощью шагающих ног-опор, оставит после себя смонтированные промежуточные опоры с готовым рельсовым путём, который при достижении анкерных опор прочно соединит с ними.

Технология строительства СТС показана на рис. 9.

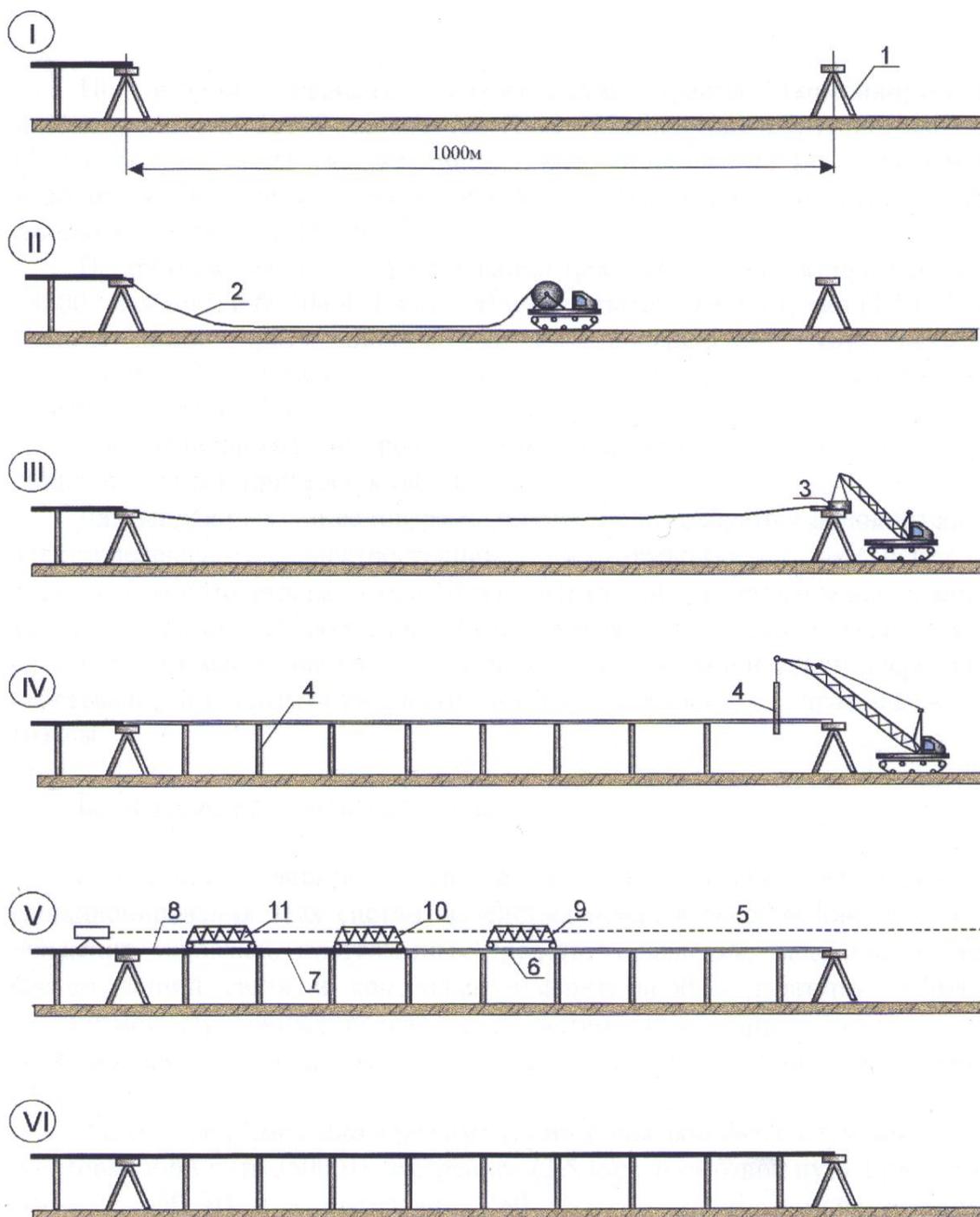


Рис. 9. Технология строительства трассы СТС:

1 - анкерная опора; 2 - канат (элемент струны); 3 - механизм натяжения каната; 4 - промежуточная опора; 5 - визирная линия; 6 - поперечная планка; 7 - корпус рельса; 8 - головка рельса; 9, 10, 11 - технологические платформы для установки, соответственно: поперечных планок, корпуса рельса и головки рельса;

I - строительство анкерной опоры; II - раскладка канатов струны вдоль трассы; III - натяжение и анкеровка струны; IV - установка промежуточных опор; V - монтаж элементов рельса и путевой структуры; VI - готовый участок трассы.

1.10. Техничко-экономические показатели

Техничко-экономические показатели участка двухпутной трассы протяженностью 1 км представлены в табл. 3, а стоимость транспортной системы - в табл. 4.

Таблица 3

Расход материалов и стоимость 1 км двухпутной трассы
“Минск - Москва”

Конструктивный элемент	Материал	Расход материалов на 1 км трассы		Ориентировочная стоимость, тыс. USD/км
		масса, тонн	объем, куб.м.	
1. Рельс-струна, всего				380
В том числе:				
1.1.Головка	Сталь	60	-	120
1.2.Корпус	Алюминиевый лист	5	-	25
1.3.Струна	Стальная проволока	80	-	160
1.4.Заполнитель	Композит	-	40	20
1.5.Клеевая мастика	Композит	1	-	10
1.6.Защитная оболочка струны	Полимер	4	-	20
1.7.Гидроизоляция струны	Полимер	1	-	5
1.8.Прочее		-	-	20
2. Поперечные планки		-	-	40
3. Промежуточные опоры, всего		-	-	170
В том числе:				
3.1.Столбы	Железобетон	-	160	80
3.2.Перемычки, раскосы	Сталь	15	-	30
3.3.Верхнее строение опор	Сталь	10	-	30
3.4.Фундамент	Бетон	-	80	20
3.5.Прочее		-	-	10
4. Анкерные опоры, всего		-	-	70
В том числе:				
4.1.Тело опоры	Железобетон	-	80	40
4.2.Основание	Бетон	-	40	10
4.3.Металлоконструкции	Сталь	3	-	6
4.4.Анкерное крепление	Сталь	1	-	5
4.5.Прочее		-	-	9
5. Земляные работы		-	-	30
6. Система контроля за состоянием опор и путевой структуры		-	-	50
7. Система контроля за движением транспортного потока		-	-	30

Конструктивный элемент	Материал	Расход материалов на 1 км трассы		Ориентировочная стоимость, тыс. USD/км
		масса, тонн	объем, куб.м.	
8. Система управления движением транспортного потока		-	-	60
9. Площадки для аварийной остановки		-	-	20
10. Проектно-изыскательские работы		-	-	50
11. Стоимость отвода земли и ее подготовки для строительства		-	-	50
12. Прочие работы		-	-	50
13. Непредвиденные расходы		-	-	100
ВСЕГО:				1100

Таблица 4

Стоимость двухпутной транспортной линии СТС
“Минск - Москва”

№ п/п	Наименование элементов трассы	Количество (объем работ)	Стоимость ед. объема работ, тыс. USD	Общая стоимость, млн. USD
1	Путевая структура	710 км	420	298,2
2	Опоры	710 км	240	170,4
3	Вокзалы	5 шт.	30000	150
4	Промежуточные станции	10 шт.	5000	50
5	Гараж-мастерская	5 шт.	15000	75
6	Земляные работы	710 км	30	28,4
7	Система контроля за состоянием опор и путевой структуры	710 км	50	28,4
8	Система контроля за движением транспортного потока	710 км	30	21,3
9	Система управления движением транспортного потока	710 км	60	42,6
10	Площадки для аварийной остановки	710 км	20	14,2
11	Проектно-изыскательские работы	710 км	50	35,5
12	Стоимость отвода земли и ее подготовки для строительства	710 км	50	35,5
13	Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы	-	-	25
14	Опытный (однопутный) участок трассы СТС	20 км	1000	20
15	Другие элементы транспортной инфраструктуры трассы	-	-	20
16	Прочие работы	-	-	20
17	Непредвиденные расходы	-	-	65,5
ВСЕГО:				1100

При определении стоимости конструкций использовались следующие укрупненные цены: металлоконструкции, в зависимости от сложности и марки используемой стали - 2000...5000 USD/т; конструкции из алюминия - 5000 USD/т; железобетонные конструкции - 500 USD/м³; бетонные конструкции - 250 USD/м³. Предусмотрено 10 промежуточных станций стоимостью 5 млн. USD каждая. Стоимость вокзалов (5 шт.) и технологических помещений определялась из расчета - 3000 USD/м² площади вокзала (общестроительные работы плюс инженерное и технологическое оборудование) и 1500 USD/м² площади гаражей (мастерских).

Стоимость двухпутной трассы составит 1,1 млн. USD/км, а всей транспортной системы, имеющей протяженность 710 км, с учетом инфраструктуры - 1100 млн. USD.

Основные технико-экономические показатели представлены в табл.5, а затраты на перевозки по транспортной линии (себестоимость проезда одного пассажира) - в табл.6. Себестоимость проезда пассажира на расстояние 710 км при пассажиропотоке 50 тыс. пасс./сутки составит 7,92 USD. При этом транспортная система будет давать прибыль 68 млн. USD/год.

Прибыль от эксплуатации трассы может быть значительно увеличена, если повысить стоимость пассажирских билетов до 20 USD/пасс. (до уровня на железной дороге). Это даст дополнительную прибыль по трассе (при 50 тыс. пасс. в сутки) в 220 млн. USD. При этом транспортная линия окупит себя через 3,8 года. При пассажиропотоке 100 тыс. пасс. в сутки трасса окупится за 2,2 года.

На трассе СТС возможен высокий пассажиропоток. Малое время в пути (до двух часов) и низкая стоимость проезда сделают возможными однодневные командировки и взаимные посещения городов туристами, бизнесменами, покупателями и т.п.; позволят многим ездить на работу из одних городов и поселков, расположенных на трассе, в другие города. Пассажиропоток на трассе "Минск - Москва" резко возрастет за счет транзита после сооружения всей транспортной системы "Москва - Лондон (Париж)".

Таблица 5

Технико-экономические показатели трассы СТС
“Минск - Москва”

Показатель	Величина
1. Характеристики транспортной линии	
1.1. Общая стоимость, млн. USD	1100
1.2. Амортизационные отчисления, %	5
1.3. Годовые эксплуатационные издержки и затраты по содержанию и текущему ремонту, тыс. USD/км	50
1.4. Срок окупаемости, лет	20
1.5. Протяженность трассы, км	710
2. Характеристики модуля	
2.1 Стоимость, тыс. USD:	
- пассажирский	40
2.2. Вместимость, чел.:	
- бизнес-класс	10
- первый класс	5
- класс “люкс”	1
2.3. Грузоподъемность, кг:	
- пассажирский	3000
2.4. Масса транспортного модуля (нетто), кг	1500
2.5. Коэффициент использования на линии	0,5
2.6. Резерв парка подвижного состава, %	20
2.7. Среднеходовая скорость, км/час	400
2.8. Мощность двигателя, кВт:	
- пассажирский	200
2.9. Годовой пробег одного модуля, тыс. км:	
- пассажирский	1300
2.10. Годовой объем перевозок одним транспортным модулем (на плече 710 км):	
- пассажиров, чел.	18200
2.11. Амортизационные отчисления, %	10
2.12. Годовые эксплуатационные издержки, % от стоимости модуля	10
2.13. Срок окупаемости, лет	10

Таблица 6

Затраты на перевозки по транспортной линии СТС
"Минск - Москва" на плече 710 км

Показатель			
	пассажирские, тыс. пасс./сутки		
	20	50	100
1. Приведенные затраты:			
- USD/пасс.	17,49	7,92	4,72
В том числе:			
1.1. Издержки по транспортной линии, всего	15,95	6,38	3,18
в том числе:			
- амортизационные отчисления	6,03	2,41	1,20
- эксплуатационные издержки	3,89	1,56	0,78
- отчисления на прибыль	6,03	2,41	1,20
1.2. Издержки по подвижному составу, всего	1,54	1,54	1,54
в том числе:			
- амортизационные отчисления	0,16	0,16	0,16
- эксплуатационные издержки	0,16	0,16	0,16
- отчисления на прибыль	0,16	0,16	0,16
- стоимость топлива	1,06	1,06	1,06
2. Количество модулей, обслуживающих всю магистраль, шт.	400	1000	2000
3. Стоимость подвижного состава, млн. USD	12	30	60
4. Средний интервал между соседними модулями в транспортном потоке (одиночные модули на одной линии):			
- во времени, сек.	86,4	34,6	17,3
- в расстоянии, км	9,60	3,84	1,92

2. Технико-экономическое сравнение СТС с другими вариантами высокоскоростной трассы

2.1. Высокоскоростная железная дорога

Высокоскоростные железнодорожные магистрали (ВСМ), рассчитанные на скорость движения поездов 250...300 км/час, находят все большее применение во всем мире. Их развитие признано приоритетным в транспорте и, например, Совет Министров Европейского Сообщества планирует вложить в их строительство около 200 млрд. экю (до 2010 г.).

Обычный железнодорожный транспорт не подходит для ВСМ. Более того, осадка земляного полотна под ВСМ не должна превышать 1 мм, поэтому при строительстве дороги придется вынимать слабые грунты на глубину в несколько метров. Слабые грунты, как правило, размещены в низинах, поймах рек, заболоченных участках и представляют естественную гидросистему, которая накапливает и распределяет влагу между реками. Засыпка грунта (и его уплотнение) в таких объемах нарушит естественный водоток, что будет иметь серьезные последствия: обезвоживание одних территорий, заболачивание других, потеря лесных массивов, пахотных земель и т.п. По сути дела насыпь высокоскоростной магистрали станет дамбой (плотиной) для грунтовых и поверхностных вод. Кроме того ВСМ потребует специального ограждения (с обеих сторон) и шумозащитных экранов, что станет непреодолимым препятствием для диких и домашних животных, сельхозтехники и т.п. В общей сложности для ВСМ понадобится отчуждение земли в размере 3,2 гектара/км (данные по Германии), а для всей трассы потребуется изъять у землепользователя 2272 гектаров земли.

Трасса СТС не создаст каких-либо экологических проблем. Для нее не нужны насыпи, выемки, тоннели, мосты и путепроводы. Одна поддерживающая опора отнимет лишь около 1 м² земли, анкерная - 10 м². На километре трассы СТС площадь отчуждения земли, таким образом, будет менее 100 м², т.е. 0,01 га, а ширина условной полосы отчуждения будет в пределах 10 сантиметров. Это значительно меньше, чем отчуждение земли пешеходной дорожкой и даже - тропинкой.

СТС не критична к длине пролета, поэтому не только лес, но и отдельно стоящие деревья, которые попадают под опоры, могут не вырубаться, т.к. любая опора может быть смещена в ту или иную сторону прямо по ходу строительства.

Трасса СТС не будет препятствовать миграции почвенных и поверхностных вод, животных, пресмыкающихся, ведению сельскохозяйственных и др. работ и т.п.

СТС отличается крайне низким расходом материалов на свое сооружение, поэтому она будет и самой экологически чистой с технологической точки зрения. Например, однопутную трассу СТС такой же протяженности, что и железная дорога, можно построить из материалов всего одного железнодорожного рельса и каждой третьей шпалы (у железной дороги остаются еще второй рельс и 2/3 шпал, контактная сеть с медным проводом и поддерживающими опорами, мощная щебеночная подушка, земляная насыпь, мосты, путепроводы, виадуки и др.). Поэтому для строительства СТС не потребуется такое количество домен, руды и рудников (без которых нельзя получить сталь

и медь), цементных заводов и заводов железобетонных изделий, грунтовых, песчаных и щебеночных карьеров, такого количества автомобильных и железнодорожных перевозок строительных материалов, подъездных путей и т.п., что создало бы значительный дополнительный, иногда необратимый экологический гнет на природу.

Высокоскоростной поезд является достаточно сильным источником шума и вибрации почвы. Это и неудивительно. Ведь его масса - сотни тонн, длина - сотни метров, мощность двигателя - тысячи киловатт. Поезд имеет большое количество выступающих частей, разъемов, стыков, каждый из которых является источником шума. Одна колесная пара весит около тонны и она не может не стучать даже на микронеровностях пути, не говоря уже о макронеровностях, например, рельсовых стыках.

Модуль СТС не имеет выступающих частей, кроме узких колес, выдвинутых на 10 сантиметров из корпуса. Ему не нужны даже стеклоочистители и фары (т.к. водитель отсутствует), которые при высоких скоростях движения также были бы источниками шума. Колеса могут быть выполнены из легких сплавов (нагрузка на одно колесо 500...750 кгс), поэтому масса их будет в пределах 10...20 кг. Таким образом, масса модуля СТС будет в сотни раз меньше массы поезда, длина модуля - короче в десятки раз, масса неподрессоренной части - меньше в сотни раз, а ровность пути движения - значительно выше (что может быть ровнее сильно натянутой струны?). Поэтому в сравнении с поездом ВСМ модуль СТС будет в сотни раз более слабым источником шума и вибрации почвы.

Но главное преимущество СТС - дешевизна. Например, эксперты Европейского банка реконструкции и развития осуществляли экспертизу трассы ВСМ "С.Петербург – Москва" (660 км). По их мнению строительство ВСМ обойдется в 6...8 млрд. USD, стоимость проезда пассажира по ней - в 123 USD (примерно такие же данные и по западноевропейским ВСМ). Трасса ВСМ "Минск - Москва" может быть оценена в 6,5...8 млрд. USD, а стоимость проезда пассажира на плече 710 км - 130 USD. Эти цифры в десять раз выше, чем у СТС. Средств, необходимых для строительства ВСМ "Минск - Москва", было бы достаточно для строительства трассы СТС протяженностью свыше 4000 км, например, "Москва - Лондон (Париж)".

2.2. Анализ возможности применения автотранспорта

Как известно, автомобильный транспорт на расстояниях свыше 200...400 км по отношению к железнодорожному и воздушному

является не конкурирующим, а дополняющим инфраструктуру единой транспортной системы.

Неконкурентность автомобильного транспорта, как основного, для освоения пассажиропотока по трассе “Минск - Москва” очевидна, поскольку:

- даже при условии строительства новой многополосной автострады реальная скорость и комфортность передвижения автомобильным транспортом будет гораздо ниже, чем у пассажиров СТС. Средняя скорость легкового автомобиля на трассе не превысит 100...110 км/ч, а у автобусов будет еще ниже. Это означает, что время в пути из центра г.Москвы в центр г.Минска составит не менее 7...8 часов. В то время как модуль СТС преодолет это расстояние за 2 часа;

- под строительство скоростной автострады (с учетом необходимости устройства разделительных полос движения, многочисленных развязок в разных уровнях типа “клеверный лист”, полос разгона и замедления, стоянок для отдыха и т.д.) необходимо отвести полосу в 2,5...3 раза шире, чем под ВСМ, рассчитанную на такой же пассажиропоток и в 750...900 раз (!) шире, чем под СТС;

- выбросы вредных веществ в атмосферу на СТС будут ниже, чем на ВСМ, где они равны примерно 0,6 грамм на пассажиро-километр, в то время как на автотранспорте они составляют более 10 грамм на пассажиро-километр;

- модули СТС будут герметичны, что исключит сброс в окружающую среду вне специальных пунктов сбора в депо продуктов жизнедеятельности пассажиров и бытового мусора. В то же время, как показывает опыт, полоса вдоль автострады подвергается сильнейшему загрязнению бытовыми отбросами автопутешественников.

3. Заключение

СТС, благодаря своей высокой конкурентоспособности, быстро сможет завоевать рынок высокоскоростного сообщения. Она создаст новую экономическую нишу, потеснив высокоскоростную железную дорогу, поезда на магнитном подвесе и авиационный транспорт. Поэтому трасса “Минск - Москва” может рассматриваться как высокоскоростная составляющая Второго Критского транспортного коридора «Париж-Минск-Москва-Екатеринбург».