

А.Э.Юницкий

СТРУННЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ НА ЗЕМЛЕ И В КОСМОСЕ

СТРУННЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ: НА ЗЕМЛЕ И В КОСМОСЕ

Гомель - 1995

Автор: А.Э. Юницкий

Струнные транспортные системы: на Земле и в космосе.
/А.Э. Юницкий. — Гомель, 1995. — 337 с.: ил.

Изложены теория, состояние разработки, перспективы и основные результаты исследований высокоскоростного наземного транспорта, движение которого осуществляется по струнной путевой структуре, и неракетного космического транспортного средства в виде кольцевой струнной системы, охватывающей планету в плоскости, параллельной экватору.

Художник Г.Л. Палеев

© А.Э. Юницкий, 1995

© Глава 4, фирма "NTL Neue Transportlinien GmbH" (Германия), 1995

© Глава 4, О.Н. Вярвильская, В.А. Савенков, В.П. Савчук, А.Э. Юницкий

© Оформление переплета — А.Э. Юницкий

© Книга подготовлена к печати и издана на средства фирмы "NTL Neue Transportlinien GmbH" и А.А. Капитонова

ПРЕДИСЛОВИЕ

*"В решении новых вопросов науки и техники
всегда труднее всего сделать первый шаг"*

М.В. Келдыш

В настоящее время весьма актуальна задача создания принципиально нового вида высокоскоростного наземного транспорта, сочетающего, с одной стороны, преимущества известных видов транспорта: высокую скорость самолета и поезда на магнитном подвесе, низкую себестоимость железнодорожных перевозок, высокую пропускную способность автомагистралей, экологическую безопасность электромобилей, с другой — свободного от их недостатков: экологической опасности и высокой аварийности автотранспорта, больших площадей отчуждения земли под автомобильные и железные дороги, отдаленности аэропортов от городов, высокой стоимости и сложности решений научных и технических проблем при создании и эксплуатации электромобилей и поездов на магнитном подвесе. Кроме того, возрастающая коммуникативность мирового сообщества выдвигает дополнительные требования: транспорт должен быть индивидуальным, обеспечивать оперативную, безопасную и комфортную связь независимо от расстояний и быть доступным непрофессиональному пользователю.

В ведущих странах мира существуют государственные программы по перспективным высокоскоростным видам наземного транспорта, по которым проводятся независимые разработки многими крупными фирмами. Это колесный транспорт, электромобили, высокоскоростные железные дороги и поезда на магнитном подвесе. Разрабатываются и довольно экзотические проекты. Например, одна из фирм Японии предлагает идею подземной авиалинии, когда самолет с укороченными крыльями летит по подземному туннелю.

В области создания новых видов наземного скоростного транспорта ученые и инженеры разных стран с 1960-х годов сосредоточили свой поиск на бесконтактных (бесколесных) системах для достижения скоростей движения 500 км/ч. Разработчики транспорта с магнитным подвесом экипажа, линейным тяговым электроприводом и магнитной системой стабилизации движения столкнулись с серьезными трудностями. Об этом говорит тот факт, что в свое время в СССР было израсходовано на исследования в данной области в общей сложности свыше

10 миллиардов долларов, однако ни одной действующей трассы так и не было построено. Из сказанного вытекают и неизбежно высокие стоимости эстакад и экипажей транспорта на магнитном подвесе и, соответственно, высокая стоимость проезда на нем.

Однако последние достижения в технике свидетельствуют, что колесо еще не исчерпало своих возможностей. Рекорд скорости автомобиля, занесенный в книгу рекордов Гиннеса, составляет 1190 км/ч; платформы, разогнанной по рельсовому пути двигателем — 9851 км/ч. Таковы рекорды. Для нужд наземного транспорта достаточна скорость в 500—600 км/ч, а это всего 5000—6000 оборотов в минуту для колеса средних размеров. При высоких скоростях движения колесного транспорта проблемы возникают не из-за колеса как такового, а в силу необходимости обеспечить высокую ровность дорожного полотна трассы. Чтобы достичь рекордных скоростей, сегодня используют, например, очень гладкую поверхность дна высохшего соляного озера. Но что может быть ровнее натянутой до высоких усилий струны? Струны, которая издавна использовалась в транспортных целях, правда не в качестве направляющей, а в качестве приводного механизма, обеспечивающего высокую скорость движения стрелы, выпущенной из лука. Тетива в луке имеет малую длину. А если эту струну натянуть на опоры, удаленные друг от друга на большое расстояние, то неизбежно появится параболический прогиб, обусловленный действием силы тяжести. Тому, как из такой струны сделать идеально ровный и очень жесткий путь движения для колесного электрического транспорта и посвящена первая часть книги. В ней рассмотрена принципиальная схема струнной транспортной системы (СТС) и дано описание отдельных узлов, агрегатов и конструктивных элементов. Кроме этого, подробно исследованы динамика движения экипажа и колебания струнной путевой структуры, а также дано технико-экономическое обоснование проекта.

В настоящей работе впервые предлагается общая концепция СТС (глава 1), прорабатывается ее конструкция (глава 2) и сделан анализ основных научно-технических проблем, возникающих при осуществлении данного проекта (глава 3). К ним, в частности, относятся: расчет и управление динамикой движения транспортных модулей по струнной транспортной линии (СТЛ), исследование прочности модулей и несущей конструкции, трибология контакта колесо—струна при сверхвысоких скоростях движения и др. вопросы. В главе 4 приводятся результаты разработки динамической модели и расчетные оценки параметров движения транспортных модулей по струнной транспортной линии.

На основании ряда общих допущений получены уравнения, описывающие движение в вертикальной плоскости системы "линия—мо-

дули". Для решения этих уравнений при некоторых ограничениях на конструктивные параметры системы предложен метод последовательных приближений и сформулирована задача о колебаниях линии под действием движущихся нагрузок.

Исследованы колебания СТЛ для случая, когда модуль упругости корпуса СТЛ мал, а материал наполнителя несжимаем. Получены формулы для максимального прогиба пролета при движении одиночной нагрузки и потока нагрузок. Исследуются колебания линии с учетом упругих и диссипативных свойств корпуса и наполнителя. Проведен анализ времени затухания длинных и коротких волн после схода нагрузки с пролета. Получены условия резонанса при движении потока нагрузок по линии со сплошным и разрезным корпусом.

В виде графиков представлены результаты расчетов динамического прогиба пролета при различных условиях движения нагрузок и различных значениях конструктивных параметров. Проведен подробный анализ полученных графиков, сделаны обобщения и сформулированы выводы.

Идея струнного транспорта зародилась у автора при работе над более грандиозным проектом — программой безракетного освоения космоса. Ему удалось найти единственно возможное решение, не противоречащее законам физики, где используется принцип барона Мюнхаузена, который, как известно, вытянул и себя и коня из болота, потянув за косичку. Реализация этой идеи возможна, если центр масс космической транспортной системы совпадает с центром Земли, для чего она должна охватить планету в виде кольца. Вместо косички в ней будет использован магнитный подвес, а подниматься в космос можно будет с помощью центробежных сил, создаваемых движущимся вдоль конструкции ротором. Такова принципиальная схема общепланетного транспортного средства (ОТС). Вторая часть книги посвящена ОТС и обоснованию неизбежности индустриального освоения космоса в будущем с помощью безракетных систем. Описана конструкция ОТС, системы разгона ротора до второй космической скорости, динамика движения в атмосфере и в ближнем космосе. Проанализирована структура колец Урана и Сатурна, которые могли быть построены с помощью подобных технических систем. Рассмотрены и другие вопросы, которые обсуждались на первой Всесоюзной научно-технической конференции "Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты", проведение которой было организовано автором 26—28 апреля 1988 г. в г. Гомеле.

Обе части книги объединены не только общим авторством, но и тем, что СТС и ОТС являются струнными транспортными системами, т.к. их поперечные размеры малы в сравнении с длиной и они растянуты в продольном направлении до значительных усилий. Проект СТС

появился как результат работы над эстакадой ОТС, создание которой является наиболее трудоемкой частью этого проекта, т.к. эстакада будет иметь протяженность в десятки тысяч километров и должна опоясывать Землю по одной из широт. Принципиальная схема ОТС по данной причине подвергалась критике со стороны многочисленных оппонентов. Стремление упростить и удешевить конструкцию эстакады привело к созданию линейной струнной системы, которую предлагается использовать в качестве путевой структуры наземного скоростного транспорта.

Серьезные исследования по проектам, описанным в настоящей монографии, в мире не проводятся. Об этом свидетельствуют результаты патентного поиска на мировую новизну по международным заявкам на струнные транспортные системы и анализ научных публикаций.

Автор выражает особую благодарность Капитонову А.А., президенту фирмы "NTL Neue Transportlinien GmbH", за огромный вклад в организацию работы над проектом СТС и за то, что он взял на себя тяжелое бремя финансирования научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, патентования полученных результатов и много другого, без чего невозможна реализация данного проекта.

Автор глубоко благодарен академикам Академии наук Республики Беларусь Высоцкому М.С. и Капуцкому Ф.Н. за поддержку проекта и помощь в продвижении концепции СТС от идеи к реальному воплощению.

При подготовке к печати настоящего издания большую помощь автору оказали к.т.н. Шилько С.В. (Институт механики металлополимерных систем АН Беларуси) в подготовке части 1 книги, к.ф.-м.н. Казбан А.М. (Воронежский политехнический институт) и к.т.н. Лизарев А.Д. в подготовке части 2, д.т.н. Петроковец М.И. — в рецензировании части 2 книги. Глава 4 (часть 1) написана коллективом авторов в составе: к.ф.-м.н. Вярвильская О.Н., к.ф.-м.н. Савенков В.А., к.ф.-м.н. Савчук В.П. (Белорусский государственный университет) и Юницкий А.Э.

Автор считает своим приятным долгом выразить всем, кто помог в подготовке и издании данной книги, самую искреннюю и глубокую признательность.

Глава 1

ОБЩАЯ КОНЦЕПЦИЯ СТС, КАК АЛЬТЕРНАТИВЫ СУЩЕСТВУЮЩИМ ВИДАМ ТРАНСПОРТА

Основу любой транспортной системы составляет транспортная магистраль, по которой осуществляется движение транспортных модулей. Как правило, она является очень материалоемкой (автодорожное полотно, рельсовый путь, мосты, туннели, земляное полотно и т.п.), и затраты на нее определяют основную стоимость всей системы. Поэтому важно, насколько эффективно используются физико-механические свойства материалов в конструкции транспортных коммуникаций.

Из четырех видов напряженно-деформированного состояния материалов: растяжение, сжатие, изгиб, кручение, — наиболее благоприятным, в смысле наиболее полного использования физико-механических свойств материалов, является растяжение. Это можно проиллюстрировать следующим примером. Останкинская телебашня, работающая на сжатие, автодорожный мост с пролетом 500 метров, испытывающий изгиб, и работающий на растяжение трос длиной в 500 метров, к которому подвешен груз в 100 тонн, имеют примерно одну и ту же длину и рассчитаны на примерно одинаковую полезную нагрузку. Однако материалоемкость последней конструкции в тысячи раз ниже, так как диаметр троса будет менее 10 сантиметров, в то время как и телебашня, и мост с таким пролетом имеют в поперечнике размер свыше 10 метров.

Из механики известна расчетная схема, элементы которой работают на растяжение, обладающая уникальными возможностями: нагруженная до предела прочности материала, она способна нести еще большую дополнительную нагрузку, не разрушаясь.

Если взять струну, перекинуть ее через два блока и нагрузить до предела прочности усилием T (рис. 1.1, а), то она не разрушится и при дополнительной нагрузке в середине пролета $P < 2T$ за счет появления прогиба u_c (рис. 1.1, б).

Такую конструкцию можно трансформировать в линейную схему большой протяженности (рис. 1.2, а), в которой роль блоков выполняют подвижные опоры 3, а вместо грузов, имеющих вес T , струна растянута усилием T и закреплена в жестких опорах 4.

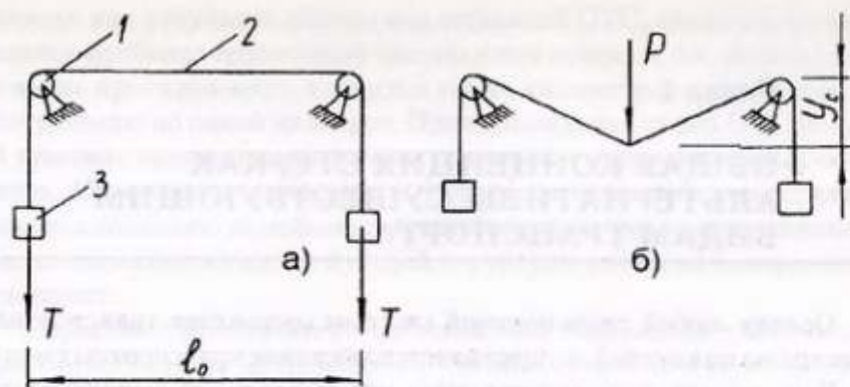


Рис. 1.1. Струнная блочная система: а — без внешней нагрузки; б — с нагрузкой; 1 — блок; 2 — струна; 3 — груз

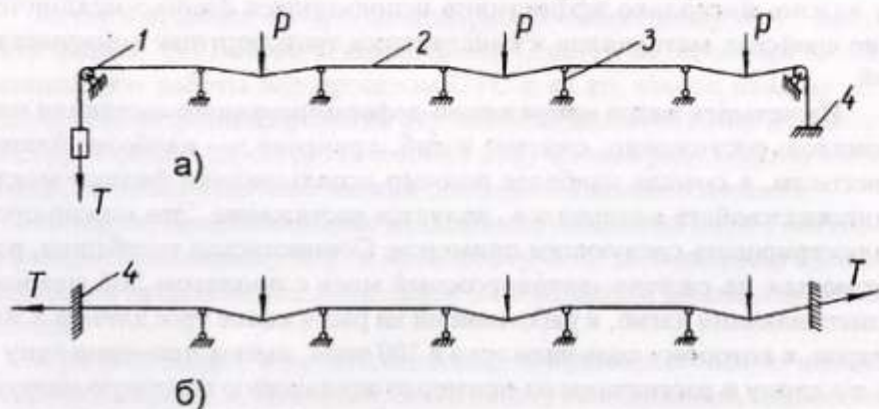


Рис. 1.2. Струнная линейная система: а — с блоком на конце струны; б — с заделкой концов струны; 1 — блок; 2 — струна; 3 — шарнирная опора; 4 — заделка (анкер)

Анализ приведенных схем показывает, что при $P < 0,1T$ напряжения в струне с заделкой (рис. 1.2, б) превышают аналогичные напряжения в струне с блоками (рис. 1.1, б) всего на 0,1%, даже если в каждом пролете (в первом случае) будет находиться одна нагрузка P . При менее нагруженной струне эта разница будет еще меньше. Такой разницей в инженерных расчетах можно пренебречь. А если $P < 0,01T$, то это различие становится пренебрежимо малым — менее 0,001%.

Схема может быть использована в качестве основы для создания новых транспортных линий [39, 40, 41, 42, 43] (транспорт НТЛ) и модернизации традиционных мостов и путепроводов (автомобильные и железнодорожные мосты).

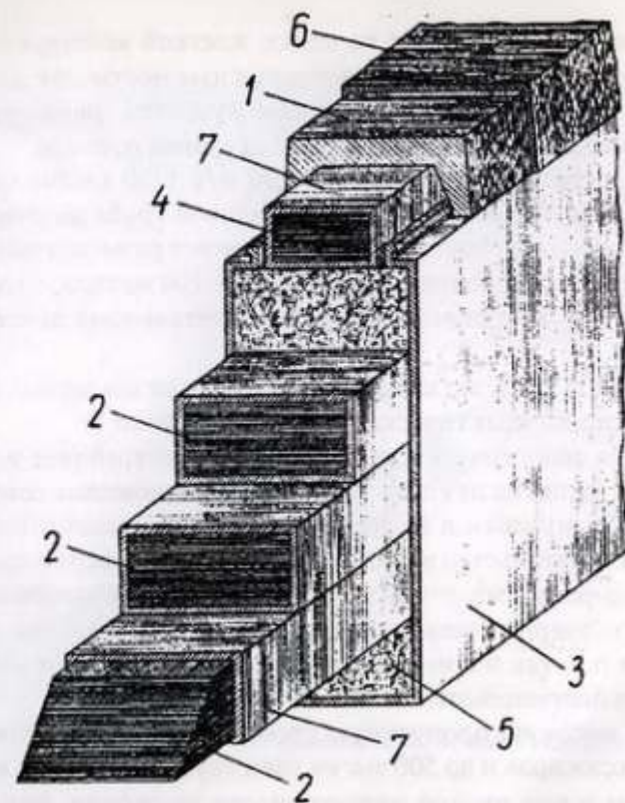


Рис. 1.3. Конструкция рельса—струны: 1 — головка; 2 — основная струна; 3 — корпус; 4 — дополнительная струна; 5 — наполнитель; 6 — износостойкое покрытие; 7 — защитная оболочка струны

Движение транспорта НТЛ осуществляется по путевой структуре, основу которой составляют два рельса—струны, выполненные особым образом (рис. 1.3). Струны 2 и 4 набраны из отдельных проволок или полос из прочного материала (например, из стали), натянуты усилием в несколько сотен тонн и установлены на легких опорах высотой 5...50 метров, размещенных друг от друга на расстоянии 20...100 метров (рис. 1.4—1.13). Запитка транспортных модулей электрической энергией осуществляется через колеса, контактирующие со струнами. Путевая структура НТЛ выполнена таким образом, чтобы рабочая поверхность (головка рельса), по которой движутся колеса транспорта, представляла собой гладкую поверхность без стыков ("бархатный путь"). Важно, что прямолинейность рельса не зависит от прогиба y_c струны под действием веса модуля в промежутке между опорами. Несмотря на низкую материалоемкость, такая путевая структура, как

показано в главах 2 и 4, будет не менее жесткой конструкцией, чем массивные автомобильные и железнодорожные мосты, так как ее прогиб под действием рабочей нагрузки (движущихся транспортных модулей) составит величину менее 1/1000 от длины пролета.

При скоростях движения свыше 200 м/с (720 км/ч) транспортную систему следует разместить в специальной трубе диаметром 2—3 метра, из которой откачан воздух. Труба может размещаться как над, так и под землей и под водой на глубине 10—100 метров, чтобы не мешать судоходству и не подвергаться разрушительному действию стихии.

Транспорт НТЛ будет выгодно отличаться от известных видов наземного транспорта практически по всем критериям :

- является экологически чистым, так как потребляет электрическую энергию (запитка от существующих электрических сетей), будет практически бесшумным и не требует отчуждения значительной территории под строительство и эксплуатацию, что особенно важно как в промышленно развитых районах (не нарушается сложившаяся сеть транспортных, энергетических и иных коммуникаций, существующая застройка и т.п.), так и в неосвоенных районах (не будет нарушаться сложившийся биогеоценоз);

- имеет высокую пропускную способность (одна линия — до 1 миллиона пассажиров и до 500 тысяч тонн грузов в сутки), хотя будет рентабельным и при низкой интенсивности движения, порядка 1000 пассажиров в сутки (что объясняется невысокой стоимостью трасс и транспортных модулей);

- не требует большого количества ресурсов для строительства (например, основных материалов — стали и бетона — при аналогичной пропускной способности необходимо во много раз меньше, чем для автомобильных и железных дорог; а по объему земляных работ НТЛ в сотни раз экономичнее последних);

- является самым экономичным транспортом, т.к. при эксплуатации энергетические потери определяются только аэродинамикой (КПД электропривода в НТЛ достигает 90%), а аэродинамические качества НТЛ могут быть близки к идеальным благодаря тому, что транспортный модуль практически не имеет выступающих частей;

- прост в эксплуатации и в управлении (регулируемые параметры — скорость движения и дистанция между соседними транспортными

* Подробное обоснование преимуществ транспортной системы НТЛ дано ниже в главе 2.

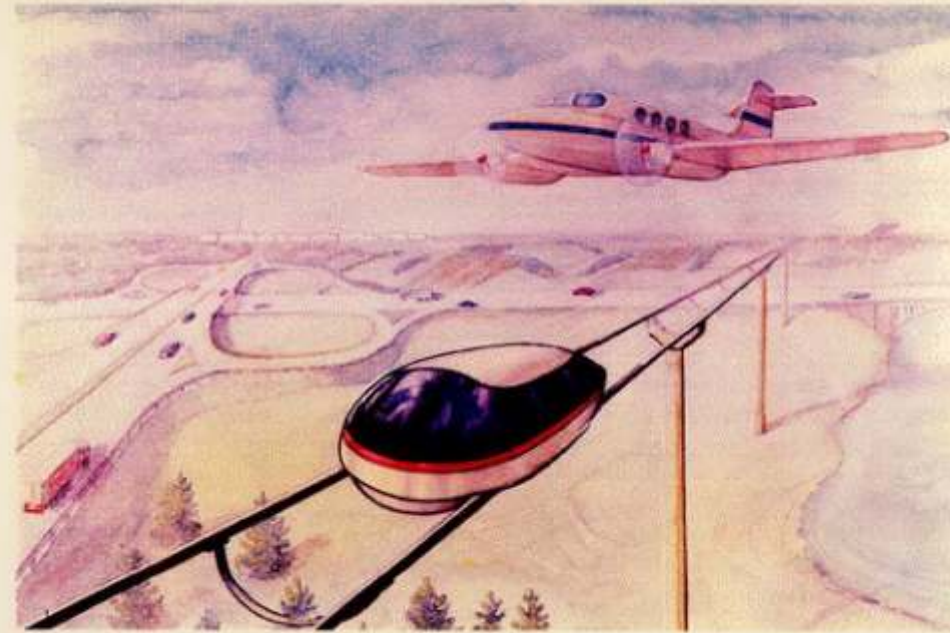


Рис. 1.4. Скорость транспорта НТЛ - как у самолета

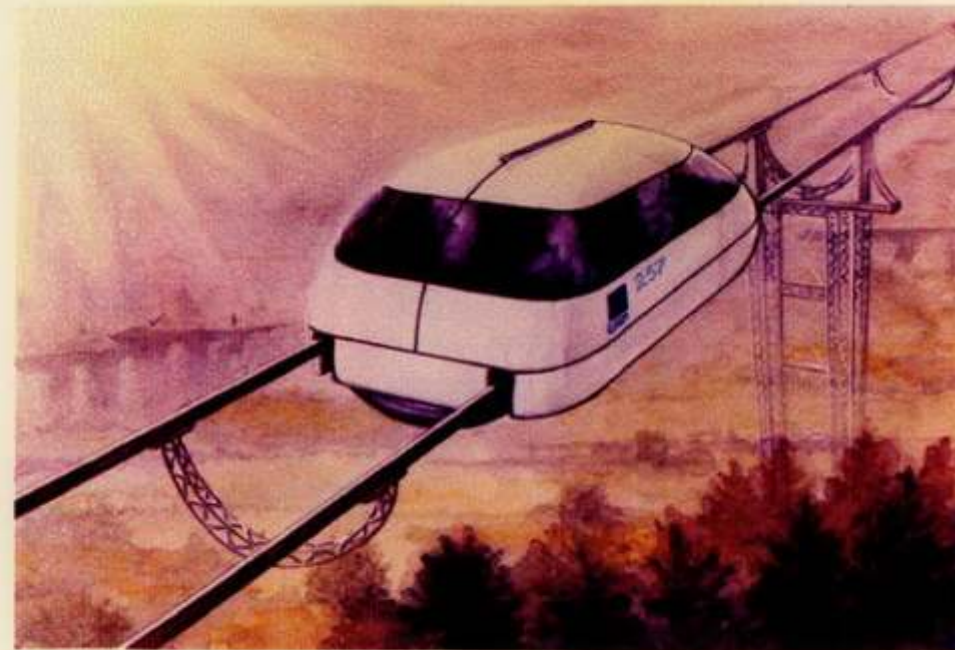


Рис.1.5. Трасса НТЛ на высоких опорах (около 100м)

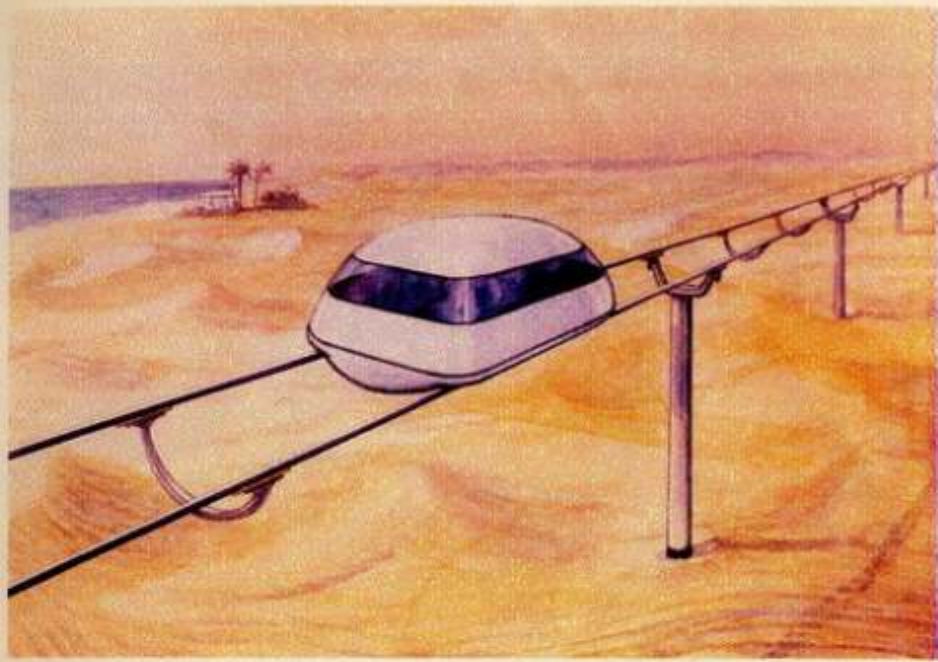


Рис.1.6. Трасса НТЛ в пустыне



Рис. 1.8. Вокзал



Рис.1.7. Трасса НТЛ в горах

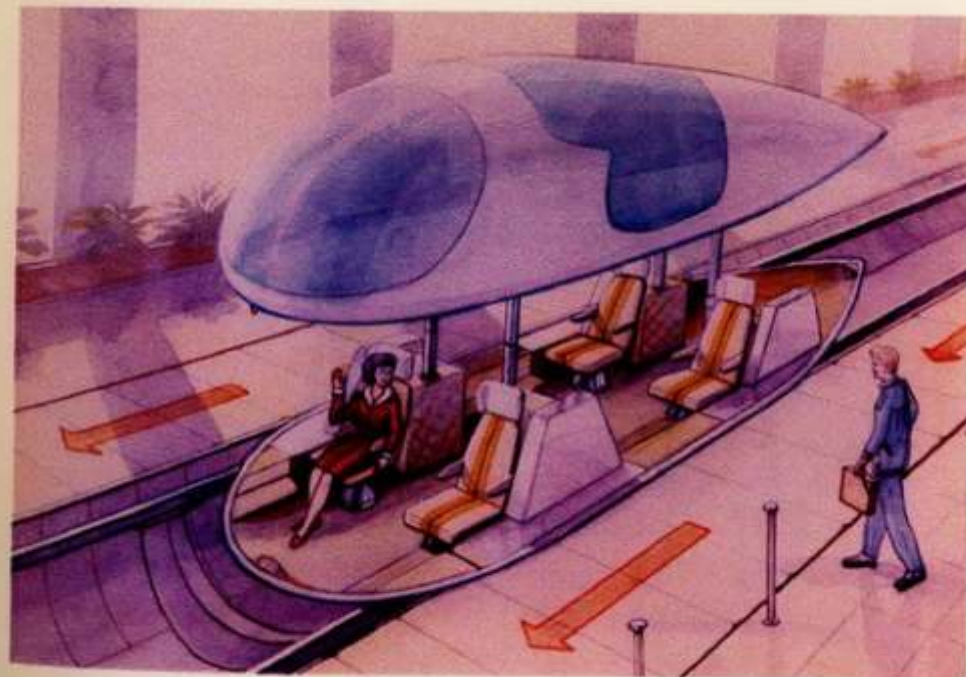


Рис.1.9. Посадка в транспортный модуль.

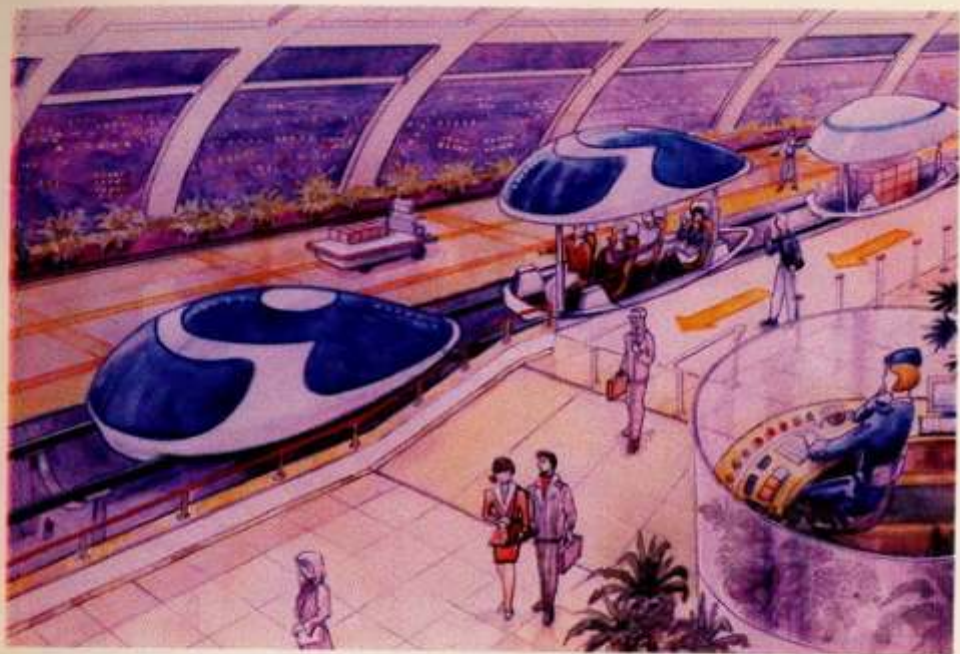


Рис. 1.8. Вокзал



Рис.1.10. Трасса НТЛ в городе

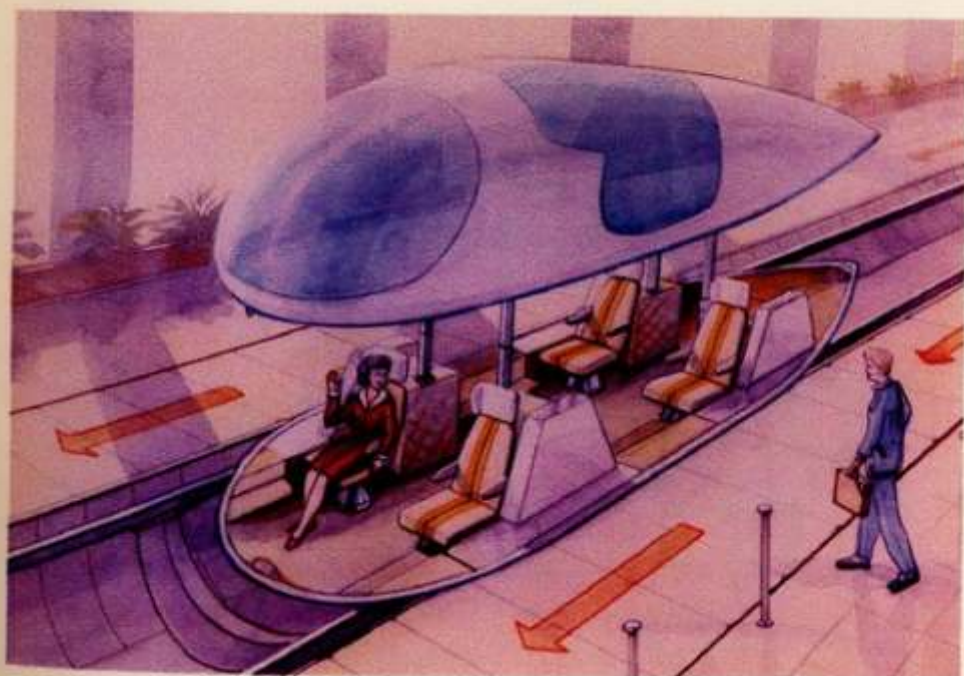


Рис.1.9. Посадка в транспортный модуль

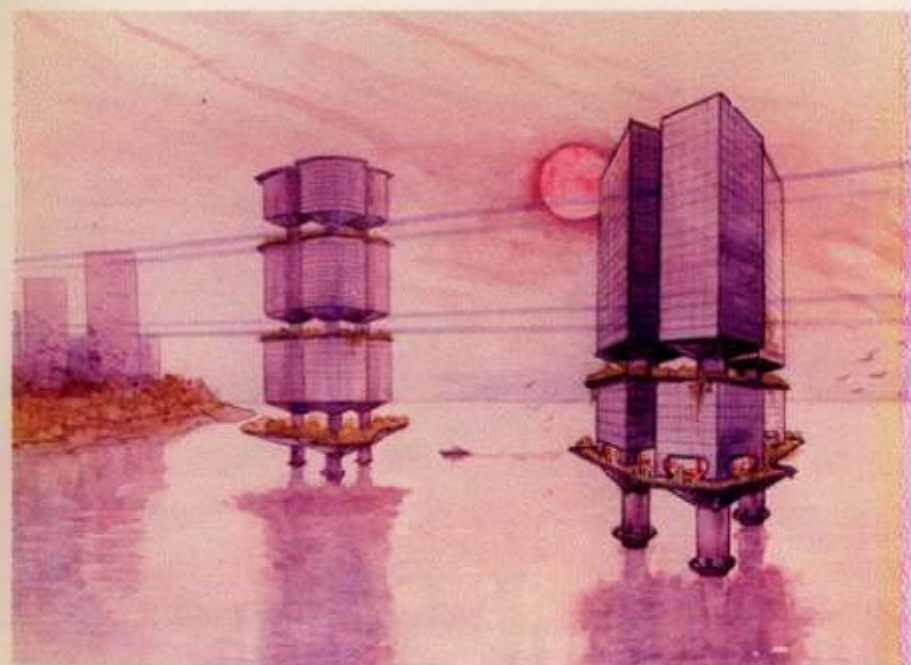


Рис.1.11. Трасса НТЛ на шельфе океана (в качестве опор - небоскребы)

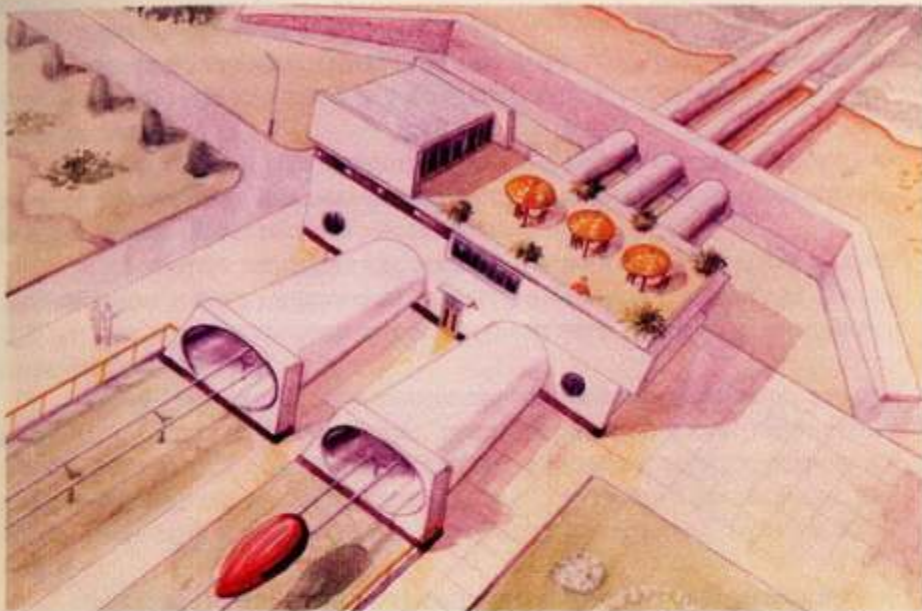


Рис 1.12. Вход трассы НТЛ в морской участок

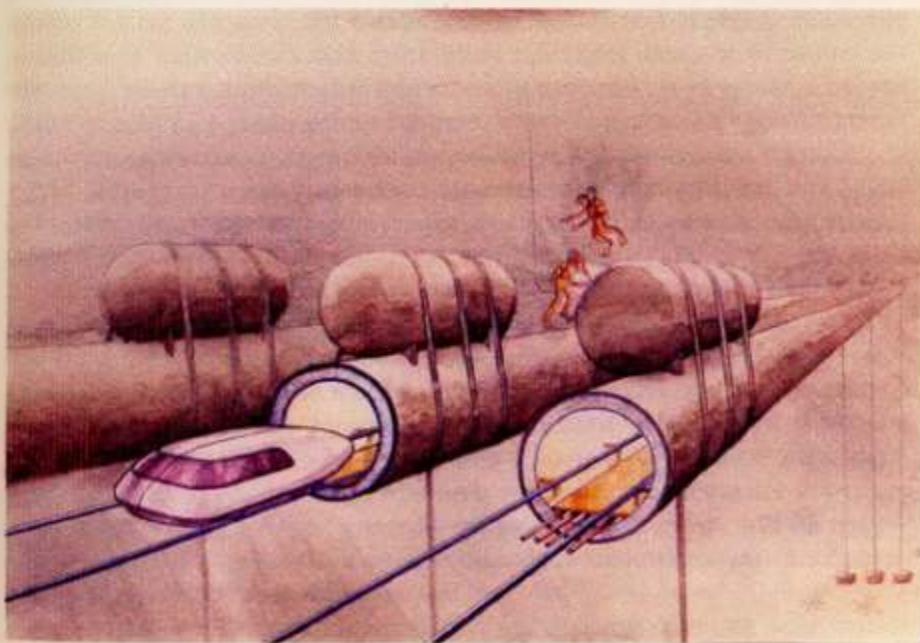


Рис.1.13. Морской участок трассы НТЛ (труба-тоннель размещена на глубине 50 м)

единицами — позволяют легко автоматизировать управление движением, а также отказаться от водителя);

- имеет на порядок меньшую удельную стоимость строительства (отнесенную к пропускной способности), чем у автомобильных и железных дорог;

- базируется на уже существующих научно-технических решениях и не требует для реализации чрезмерно высокого научного, технического и производственного потенциала;

- позволяет в перспективе достичь скорости 1000 км/час за счет размещения в вакуумируемом туннеле небольшого диаметра (около 2,5 м) при использовании систем магнитного подвеса и линейного электродвигателя;

- имеет высокую комфортность движения благодаря тому, что при движении по путевой структуре, представляющей собой “бархатный путь”, практически будут отсутствовать вибрация, шум, перегрузки и другие факторы, а такие нежелательные “спутники” автомобиля, как выхлопные газы и пары горюче-смазочных материалов, будут исключены;

- является всепогодным транспортом, так как неблагоприятные погодные условия (дождь, снег, ураган, пыльные бури и т.п.) практически не отразятся на его эксплуатации;

- обеспечивает высокую безопасность движения, поскольку даже в экстремальных условиях (землетрясение, оползень, ураган, наводнение и т.п.) сохраняется живучесть транспортной системы (падение одной или нескольких соседних опор приведет лишь к увеличению пролета, но не к нарушению целостности путевой структуры), а отсутствие человека в управлении транспортным средством и транспортными потоками позволяет свести аварийность практически к нулю;

- может служить универсальным видом транспорта, так как будет использоваться как на сухопутных, так и на морских участках транспортных линий;

- является более долговечным, чем железные и автомобильные дороги (подвергающиеся динамическому воздействию элементы трассы НТЛ прочнее и долговечнее традиционных материалов автомобильных дорог — бетона и асфальтобетона, и находятся в значительно более благоприятных условиях эксплуатации, чем рельсы и шпалы железных дорог, как из-за отсутствия стыков и более высокой прямолинейности струн, так и по причине значительно меньших контактных напряжений в паре “колесо—струна”; кроме этого, в НТЛ отсутствует фактор загрязнения пути и многолетнего накопления необратимых деформаций земляных насыпей);

- трассы НТЛ легко преодолеют без промежуточных опор глубокие ущелья, проливы и другие подобные препятствия шириной до 5—

10 километров и смогут подниматься в горы и спускаться с них под углом до 45—60 градусов (благодаря особой конструкции транспортных модулей)

- расход материалов и, соответственно, стоимость трасс НТЛ мало зависит от рельефа местности и ее особенностей, поэтому с помощью новой транспортной системы значительно облегчается освоение пустынь, болотистых участков суши, зон вечной мерзлоты, тайги, тундры, океанских шельфов, гор и т.п.

К числу достоинств транспорта НТЛ относится и то, что при более высоком уровне комфорта, чем у легкового автомобиля, транспортный модуль будет дешевле последнего в 2—3 раза, а пользоваться им сможет даже неподготовленный оператор путем введения (например, с голоса) кода пункта назначения в автоматизированную систему управления.

Технические, эксплуатационные, экономические и иные характеристики транспортной системы НТЛ в сравнении с основными видами транспорта представлены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнительные данные транспортной системы НТЛ и известных транспортных систем (для двустороннего перемещения 10000 пассажиров в час)

Показатель	Транспортная система (усредненные данные на один километр протяженности трассы)					
	НТЛ	Автомобильная дорога			Желез- ная дорога	Граждан- ская авиация
		асфальто- бетонное покрытие	железо- бетонное покрытие	эстакада		
1. Ресурсное обеспечение						
1.1. Объем земляных работ, тыс. м	0,1	75	75	2	50	1
1.2. Расход стали, тыс. т	0,1	0,01	0,1	0,5	0,4	0,01
1.3. Расход бетона и железобетона, тыс. м ³	0,1	0,1	4	8	0,5	0,5
1.4. Расход щебня, тыс. м ³	—	5	5	—	5	0,5
1.5. Расход асфальтобетона, тыс. м ³	—	4	—	1,5	—	0,1
1.6. Площадь отчуждения земли под трассу, га	0,02	5	5	2	5	1

Показатель	Транспортная система (усредненные данные на один километр протяженности трассы)					
	НТЛ	Автомобильная дорога			Желез- ная дорога	Граждан- ская авиация
		асфальто- бетонное покрытие	железо- бетонное покрытие	эстакада		
2. Эксплуатационные характеристики						
2.1. Эксплуатационная скорость*, км/час	250**— 500	80—100	80—100	80—100	100—150	200—500
2.2. Стоимость трассы, относительных единиц	1	3	4	10	4	1
2.3. Мощность двигателя транспортного средства, квт/пассажир	50	20	20	20	15	100
2.4. Затраты энергии на перемещение, квт-ч/пассажир/1000 км	100	220	220	220	120	250
2.5. Вид используемой энергии	электр	хим	хим	хим	электр	хим
2.6. Стоимость энергии, относит. единиц	1	5	5	5	1,2	6
2.7. Стоимость подвижного состава на плече 1000 км, относит. единиц	1	5	5	5	2	10
2.8. Заработная плата обслуживающего персонала, относит. единиц	1	10	10	10	2	5
2.9. Стоимость вокзалов, станций и сопутствующих служб, относит. единиц	2	1	1	1	2	5
2.10. Факторы, препятствующие безопасности движения	(отсутствуют) всегодний	туман, дождь, гололед, снежные заносы	туман, дождь, гололед, снежные заносы	туман, дождь, гололед, снежные заносы	снежные заносы	туман снег, гроза, птицы

Окончание таблицы 1

Показатель	Транспортная система (усредненные данные на один километр протяженности трассы)					
	НТЛ	Автомобильная дорога			Желез- ная дорога	Граждан- ская авиация
		асфаль- тобетон- ное покрытие	железо- бетонное покрытие	эстакада		
2.11. Неблагоприятное воздействие на окружающую среду	отсутствует	хим. загрязнение, шум, препятствует миграции животных, почв. вод	хим. загрязнение, шум, препятствует миграции животных, почв. вод	хим. загр., шум	шум, вибрация почвы, препятствует миграции животных, почв. вод	хим. загр., шум, инверсионный след
2.12. Усредненная скорость поточного строительства трассы, км/сут.	1	0,5	0,5	0,05	0,5	—

Эксплуатационная скорость взята на плече 1000 км из расчета доставки пассажира из центра города отправления в центр города назначения (с учетом потерь времени на приобретение билета, доставку в аэропорт, ожидание вылета самолета, заправки горючим, отдыха водителя и т.д.).

**Расходы для системы НТЛ приведены для эксплуатационной скорости 500 км/час.