

**Международный семинар в рамках проекта Центра ООН по населённым пунктам (Хабитат)
№ FS-RUS-98-S01-A "Устойчивое развитие населённых пунктов и улучшение их
коммуникационной инфраструктуры с использованием струнной транспортной системы"
(г.Сочи, Российская Федерация, 20-21 апреля 1999 г.)**

А.Э.Юницкий,
руководитель Проекта,
генеральный конструктор СТС

О ходе реализации Проекта Хабитат
"Устойчивое развитие населённых пунктов и улучшение их коммуникационной инфраструктуры
с использованием струнной транспортной системы"

Уважаемые дамы и господа, участники семинара!

С января 1999 г. в России разрабатывается Проект Хабитат "Устойчивое развитие населённых пунктов и улучшение их коммуникационной инфраструктуры с использованием струнной транспортной системы" (СТС).

Основные цели и задачи Проекта:

- создание альтернативы массовой автомобилизации населённых пунктов, как основного фактора их устойчивого развития, а также определение базовых условий для внедрения СТС;
- определение путей апробации СТС с точки зрения её экономической, экологической и технической составляющих, а также – по условиям комфортности и безопасности движения;
- обобщение имеющегося отечественного и зарубежного опыта, определение инвестиционной привлекательности СТС, разработка стратегии, приоритетов и механизмов практической реализации Проекта как для города-курорта Сочи, так и для других регионов.

Учитывая, что речь идёт о принципиально новой транспортной системе, значительное внимание в Проекте уделено осмыслению роли и места транспорта в жизни человека, страны, общества, цивилизации.

Развитие коммуникаций всегда имело основополагающее значение в общественном прогрессе, обеспечивая связь между народами, способствуя усилению торговых и деловых отношений. В историю человечества вошли такие известные великие торговые пути как из Варяг в Греки, Великий Шёлковый Путь.

Дороги – это неотъемлемое условие личного и общественного блага; это средство человеческого общения в территориальном и интеллектуальном пространстве; это образ жизни и одна из фундаментальных ценностей культуры, показатель уровня цивилизованности; это, наконец, жизненный путь, который мы выбираем и который нас выбирает. Убеждён, только такое восприятие дорог даёт нам ключ, с одной стороны, к надёжному обеспечению устойчивого развития, а с другой, к оптимальному решению проблем всего мирового дорожного хозяйства.

Для примера рассмотрим состояние транспортной сети России. Она включает свыше 600 тыс. км автомобильных дорог с твёрдым покрытием, свыше 160 тыс. км железных дорог, свыше 210 тыс. км газопроводов и около 100 тыс. км нефтепроводов. И это при том, что, согласно расчётам, для обеспечения потребностей экономики страны и решения социальных проблем минимальная протяжённость транспортной сети должна составлять 2 млн. км. То есть в России недостаёт около миллиона километров дорог. Для сравнения: в США, территория которых меньше территории России в 1,8 раза, построено свыше 6 миллионов километров дорог. Без сомнения, это является основой могущества и процветания Соединённых Штатов Америки.

Неудовлетворительное состояние дорожной сети ведёт к нарушению нормального функционирования экономики, спаду производства в смежных отраслях народного хозяйства, неоправданным потерям урожая, ограничению доступа к сырьевым ресурсам, сокращению рабочих мест, повышению стоимости товаров и услуг, снижению уровня жизни населения и возможностей для развития образования и культуры, ухудшению экологической ситуации, затруднениям в ликвида-

ции последствий чрезвычайных ситуаций, снижению обороноспособности страны, сдерживанию внешней торговли и туризма, повышению смертности населения.

В рамках Проекта мы проанализировали практически все существующие и перспективные виды транспорта.

С каким транспортом человечество войдёт в новое тысячелетие?

1. Железнодорожный транспорт. В его современном понимании зародился в начале 19 века, хотя первые колейные дороги существовали ещё в Древнем Риме. Во всём мире построено более миллиона километров железных дорог. В современных условиях километр дороги стоит 3...5 млн. USD, пассажирский вагон – 1 млн. USD, электровоз – 10 млн. USD. Требуется при строительстве много ресурсов: металла (стали, меди), железобетона, щебня. Объём земляных работ в среднем около 50 тыс. м³/км. Отнимает у землепользователя много земли – около 3 га/км. В сложных географических условиях требует строительства уникальных сооружений – мостов, виадуков, эстакад, тоннелей, что значительно удорожает систему и усиливает негативное воздействие на Природу. Средневзвешенная скорость движения – 100...120 км/ч.

2. Автомобильный транспорт. Появился в конце прошлого века. Построено за прошедший период свыше 10 млн. км дорог, выпущено около 1 млрд. автомобилей. Современный автобан стоит 5...10 млн. USD/км, изымает из землепользования около 5 га/км земли. Объём земляных работ превышает 50 тыс. м³/км. Среднестатистический автомобиль стоит около 15 тыс. USD, средневзвешенная скорость движения на дорогах 60...80 км/ч. Стал основным источником загрязнения воздуха в городах. Выхлоп автомобиля содержит более 10 канцерогенных веществ и более 100 токсичных соединений. Источником загрязнения и истощения окружающей среды стал как собственно автотранспорт, так и сама трасса и её инженерные сооружения, объекты обслуживания, особенно места хранения нефтепродуктов, автозаправочные станции, станции технического обслуживания, мойки и т.п., вызывающие трансформацию природной среды на прилегающих территориях.

Наибольшему загрязнению подвержены территории, непосредственно прилегающие к трассам. Полоса загрязнения достигает 300 м и более.

Насыпи и выемки автодорог приводят к деградации лесных массивов из-за заболачивания одних и обезвоживания других прилегающих территорий.

В последние десятилетия автомобиль стал основным орудием убийства человека. По данным Всемирной организации здравоохранения на автомобильных дорогах мира ежегодно гибнет (в том числе и от послеаварийных травм) свыше 900 тыс. человек, несколько миллионов становятся калеками, а свыше 10 млн. человек – получает травмы. Для сравнения: в военных конфликтах в среднем гибнет на планете около 500 тыс. человек в год.

3. Авиация, которая насчитывает около 100 лет истории. Самый экологически опасный и энергоёмкий вид транспорта. У современных самолётов суммарный выброс вредных веществ в атмосферу достигает 30...40 кг/100 пассажиро-километров. Основная масса выбросов самолётов концентрируется в районах аэропортов, т.е. около крупных городов – во время прохода самолётов на низких высотах и при форсаже двигателей. На малых и средних высотах (до 5000...6000 м) загрязнение атмосферы окислами азота и углерода удерживается несколько дней, а затем вымывается влагой в виде кислотных дождей. На больших высотах авиация является единственным источником загрязнения. Продолжительность пребывания вредных веществ в стратосфере много дольше – около года. Воздушный транспорт – самый дорогой. Стоимость современных аэробусов достигает 100 млн. USD, затраты на строительство крупного международного аэропорта превышают 10 млрд. USD.

4. Высокоскоростные железные дороги (ВСМ). Начали строить в последней четверти нашего века. Максимальная скорость движения 400 км/ч, среднеходовая скорость 180...200 км/ч. Стоимость километра дорог – 10...20 млн. USD, одного вагона – 2...3 млн. USD. Воздействие на окружающую среду более сильное, чем у обычных железных дорог. Например, экологи оценивают экологические последствия для России при строительстве высокоскоростной железной дороги "С.Петербург – Москва" как второй Чернобыль. При этом себестоимость проезда по данной дороге составит 123 USD/пасс. (протяжённость трассы 660 км). Другой пример: по оценкам экспертов, если такая густонаселённая страна как Китай, с его ограниченными и уязвимыми сельхозугодиями, в 21-ом веке ориентируется на строительство сети ВСМ, то через 20...30 лет это может вызвать в стране такой же по масштабам голод, что и в дни культурной революции, когда от голода умерло около 30 миллионов китайцев.

ВСМ требует шумозащитных экранов, специальных ограждений для исключения выхода на путь крупных домашних и диких животных, так как столкновение с ними может привести к сходу поезда с пути. Насыпь ВСМ становится непреодолимым препятствием для диких животных, поверхностных и грунтовых вод.

5. Поезда на магнитном подвесе

5.1. "Трансрапид" (Германия) с электромагнитным подвесом на обычных проводниках. При длине вагона 25 м зазор между подвижным составом и путевой структурой должен быть не более 10 мм, иначе подвес перестанет работать. Это предопределяет весьма высокие и трудно реализуемые требования к строительству и эксплуатации таких дорог. Стоимость трассы 25...50 млн. USD/км, одного вагона – 6...8 млн. USD. Например, согласно бизнес-плану немецкой компании "Сименс", представленному московскому правительству, трасса "Трансрапид" "Аэропорт Шереметьево – центр г.Москвы" протяжённостью 29 км будет стоить 1,5 млрд. USD (без учёта стоимости земли и затрат на снос зданий и строений).

Скорость движения до 500 км/час. Характеризуется сильным шумом при высоких скоростях движения, т.к. юбка вагона охватывает несущую балку со всех сторон (сверху, с боков и снизу) и в зазор втягивается с большой скоростью воздух. Имеет очень низкий энергетический коэффициент полезного действия: КПД подстанции – 34% (подстанция задаёт переменную частоту тока для создания бегущего магнитного поля вдоль путевой структуры), КПД линейного электродвигателя – 40%. После перемножения получим общий КПД 13,6%, т.е. чуть выше, чем у паровоза.

5.2. "Маглев" (Япония) – сверхпроводящая магнитно-левитационная железная дорога. Вагоны имеют сверхпроводящие катушки, магнитное поле которых обеспечивает подвес на высоту 10...20 см. Скорость движения до 500 км/ч. Катушки, находящиеся в вагоне с пассажирами, охлаждаются тремя криогенными контурами: жидкого гелия, газообразного гелия и жидкого азота. В случае скачкообразной потери сверхпроводимости произойдёт взрыв катушек с эквивалентом в несколько килограммов тротила. Стоимость километра трассы 20...30 млн. USD, одного вагона – более 10 млн. USD.

6. Монорельс – получил развитие в США, Канаде, Франции и др. странах. Движение колёсной кабинки осуществляется по балке, которая должна иметь большое поперечное сечение, благодаря которому и обеспечивается устойчивость кабины. Из-за системы подвеса вагончик имеет неблагоприятную динамику колебаний и плохую аэродинамику, поэтому монорельсовые дороги являются низкоскоростными, т.к. скорость в 200 км/ч для них недостижима. Стоимость 1 км монорельсовой трассы 4...10 млн. USD.

7. Троллейбус. Используется как городской транспорт. Один из самых экологически чистых видов транспорта. Требуется строительство дорог с твёрдым покрытием и специальной инфраструктуры с контактной сетью. Поэтому троллейбусные трассы дороже обычных автомобильных дорог. Стоимость современного троллейбуса около 500 тыс. USD.

8. Скоростной трамвай. В последние годы получил развитие в США, Канаде, Европе, Юго-Восточной Азии. Скорость движения – до 120 км/ч. Стоимость трасс – 6...12 млн. USD/км. Стоимость одного трамвая – около 1 млн. USD.

9. Рельсовый автобус – разновидность трамвая, только вместо электродвигателя – дизель. В Германии его начали выпускать с 1995 г. Стоимость одного рельсового автобуса – 2 млн. USD.

10. Канатные дороги. В Канаде, США и Германии уже эксплуатируется разработанная швейцарским инженером Г.Мюллером система подвесного транспорта, где вагоны с пассажирами передвигаются по тросам, подвешенным на лёгких металлических опорах. Такая конструкция является достаточно дешёвой, 1,5...2 млн. USD/км, однако здесь нельзя достичь высокой, более 50 км/ч скорости.

Выше перечислены основные виды транспорта, причём каждый из них имеет свои разновидности. Например, разновидностью самолёта является экранолёт, автомобиля – электромобиль. Над этими и другими видами транспорта, а их более 200, работают во многих странах мира. Даже над такими экзотическими, на наш взгляд, как авиатрассы для самолётов с укороченными крыльями для полёта по подземному тоннелю диаметром 50 м (Япония), или летающей тарелкой, создающей разрежение (вакуум) перед носовой частью летательного аппарата (Россия).

Таким образом, существующие традиционные и перспективные виды транспорта чрезвычайно дороги и экологически опасны, требуют значительной площади отчуждения ценных земель.

Ни один вид транспорта (за исключением велосипеда) не удовлетворяет требованиям норм по уровню шумов, а мероприятия по шумозащите ещё больше удорожают обустройство скоростных магистралей.

Системный анализ в рамках Проекта показал, что в 21-ом веке с точки зрения экологии, экономики, коммуникативности, землепользования, безопасности лидирующей может стать лишь такая наземная транспортная система, которая обеспечит движение транспортных средств со скоростью 300...500 км/час и будет удовлетворять следующим требованиям:

- 1) трасса с инфраструктурой будет не дороже канатной дороги – до 1,5...2 млн. USD/км;
- 2) транспортный модуль обеспечит комфорт для пассажира на уровне современного автобуса и будет стоить не дороже легкового автомобиля;
- 3) обеспечит себестоимость проезда на уровне пригородных электропоездов – в России это до 2 USD/100 пассажиро-километров;
- 4) изымет у землепользователя не более 0,1 га земли на один километр протяжённости трассы (без учёта инфраструктуры);
- 5) не потребует сооружения насыпей, выемок, строительства тоннелей, мощных эстакад, путепроводов и виадуков, нарушающих биогеоценоз;
- 6) по удельному воздействию транспортного модуля на окружающую среду будет экологически безопаснее, чем троллейбус и электромобиль – выброс вредных веществ не более 10 грамм на 100 пассажиро-километров;
- 7) на высокоскоростное перемещение потребует в 5...10 раз меньших энергозатрат (расхода топлива) чем современный легковой автомобиль – в пересчёте на бензин до 0,5 литра на 100 пассажиро-километров;
- 8) обеспечит уровень безопасности движения на уровне авиапассажирских перевозок;
- 9) обеспечит пропускную способность одной трассы до 1 млн. пассажиров в сутки и до 1 млн. тонн грузов в сутки;
- 10) будет многофункциональной коммуникационной системой – обеспечит высокоскоростное перемещение по трассе не только пассажиров и грузов, но и передачу электрической энергии и электронной информации.

Проведённый анализ укрепил нас во мнении, что ни одна из существующих и перспективных транспортных систем не удовлетворяет перечисленным требованиям 21-го века.

Это побудило автора к созданию принципиально новой коммуникационной системы, включающей недостатки существующих и включающей достоинства перспективных транспортных систем. При этом основным требованием при поиске решения было: никакой технической и научной экзотики – магнитных подвесов, сверхпроводимости, левитации, антигравитации и т.п. Система должна базироваться на существующих в России материалах, технологиях, технических решениях.

Идея струнной транспортной системы зародилась в 1982 году и тогда же были сделаны первые публикации в журналах "Изобретатель и рационализатор" и "Техника – молодёжи".

10 лет ушло на теоретическую проработку системы, поиск технических, технологических и конструкторских решений, оптимизацию экологических, экономических и технических составляющих, анализ достоинств и недостатков. Три года ушло на патентование в ведущих странах мира путём подачи международной заявки во Всемирную Организацию Интеллектуальной Собственности. Последние 5 лет – разработка рабочих чертежей на рельс-струну, опоры, элементы инфраструктуры, основные узлы транспортного модуля, исследования аэродинамики, динамики высокоскоростного движения по жёсткой нити, каковой является рельс-струна, изготовление действующих моделей.

Сейчас мы можем продемонстрировать физическую модель трассы СТС и транспортного модуля масштаба 1:15, отрезок рельса-струны (из реальных материалов) масштаба 1:1, анкерное крепление высокопрочных проволок и стальных лент, собственно и являющихся струнами.

Поэтому, хотя ещё не построено ни одного километра струнных дорог, уже можно говорить об основных технико-экономических характеристиках СТС.

СТС представляет собой размещённую на опорах предварительно напряжённую растянутую канатно-балочную конструкцию, по которой движутся специальные электромобили грузоподъёмностью до 5000 кг и вместимостью до 20 пассажиров. Запитка электрической энергией осуществляется через колёса, которые контактируют с токонесущими головками специальных

рельсов. Основу СТС составляют струны из высокопрочной стальной проволоки диаметром 1...5 мм каждая, собранные в пучок и размещённые с провесом внутри пустотелого рельса. Вместо проволоки может использоваться высокопрочная стальная лента. Рельс монтируется таким образом, чтобы после фиксации струн путём заполнения полости рельса твердеющим наполнителем, например, на основе эпоксидной смолы, головка рельса оставалась бы идеально ровной. Поэтому головка, по которой и будет двигаться колесо транспортного модуля, не имеет провесов и стыков по всей своей длине. Струны и рельсы жёстко крепятся на анкерных опорах, размещённых через 1...2 км.

Наибольшее количество в СТС будет промежуточных опор, которые устанавливаются через 25...100 м. На одну анкерную опору приходится 20...50 промежуточных, которые и будут определять стоимость опорной части. СТС спроектирована таким образом, чтобы промежуточные опоры испытывали преимущественно только вертикальную нагрузку, причём незначительную - 25 тонн при пролёте 50 м. Примерно такую же нагрузку испытывают опоры высоковольтных линий электропередач, поэтому они конструктивно и по материалоемкости близки друг к другу.

Струна и рельс не будут иметь деформационных швов по длине, а схема их работы при изменении температуры аналогична работе телефонного провода, провода линии электропередач или каната висячего моста, которые аналогично подвешены к опорам с провесом и тянутся без стыков на многие километры. Рельс выполнен сборно-разборным. Расчётный перепад температур принят равным 100 °С (раз в 100 лет от +60 °С летом на солнце до -40 °С зимой).

Для струны СТС подойдёт проволока, выпускаемая сегодня промышленностью для стальных канатов (предел прочности этой проволоки до 350 кгс/мм²), а также - для предварительно напряжённых железобетонных конструкций и канатов висячих и вантовых мостов. Для головки рельса-струны по своим физико-механическим свойствам подходит сталь, используемая для изготовления железнодорожных рельсов. СТС спроектирована с очень жёсткой путевой структурой. Например, при пролёте 50 м абсолютный статический прогиб пути от сосредоточенной нагрузки в 5000 кгс, размещённой в середине пролёта, составит всего 12,5 мм или 1/4000 от длины пролёта. Для сравнения: современные мосты, в том числе и для скоростных железных дорог, проектируют с допустимым относительным прогибом, в десять раз большим - 1/400. Динамический прогиб пути СТС под действием подвижной нагрузки будет ещё ниже - до 5 мм, или 1/10000 пролёта. Такой путь будет для колеса транспортного модуля более ровным, чем, например, дно соляного озера, где, как известно, два года назад автомобиль впервые преодолел скорость звука - 1200 км/час.

Предельную скорость в СТС будет ограничивать не ровность и динамика колебаний пути, не проблемы во фрикционном контакте “колесо - рельс”, а - аэродинамика. Поэтому вопросам аэродинамики в СТС уделено особо пристальное внимание. Нами получены уникальные результаты, не имеющие аналогов в современном высокоскоростном транспорте, в том числе и в авиации. Коэффициент аэродинамического сопротивления модели пассажирского экипажа, измеренный при продувке в аэродинамической трубе, составил величину $C_x=0,075$. Намечены меры по уменьшению этого коэффициента до $C_x=0,05...0,06$. Благодаря низкому аэродинамическому сопротивлению двигатель мощностью 80 кВт обеспечит скорость движения десятиместного экипажа в 300...350 км/час, 200 кВт - 400...450 км/час, 400 кВт - 500...550 км/час. Для Сочинской трассы, учитывая её малую длину (92 км) достаточно 200 км/час и мощности двигателя 35 кВт, из них 30 кВт будет уходить на аэродинамику, 5 кВт – на механические потери (КПД стального колеса модуля – 99%, мотор-колеса в целом – 92%).

Степень проработанности СТС в настоящее время такова, что её работоспособность и реализуемость не вызывает сомнений ни у разработчика, ни у экспертов. Главная причина того, почему программа СТС до сих пор не реализована практически, - отсутствие финансирования. Работы над струнным транспортом, вот уже в течении 16 лет, ведутся за счёт автора и его энтузиазма, чего, безусловно, недостаточно. Нет и реальной государственной поддержки, хотя программу СТС, например, поддержал и лично заинтересовался ею президент Республики Беларусь Александр Лукашенко. Реальная поддержка в виде гранта, в настоящее время, начиная с января 1999 г., осуществляется только со стороны Хабитат и небольших частных инвестиций.

Как быстро можно практически реализовать струнную систему?

Я не стану подробно рассматривать Сочинскую трассу СТС. Во-первых, бизнес-плану данной трассы будет посвящён доклад директора Института независимой экспертизы господина Лемеша. Во-вторых, эта трасса короткая и на ней сложно показать преимущества высокоскоростного

движения, причём дорога пройдёт в сложных географических условиях – по морю и в горах, в сейсмо- и оползнеопасной зоне, поэтому она будет более сложной и дорогой в реализации и менее рентабельной в эксплуатации. Назову лишь несколько цифр: протяжённость трассы СТС "Сочи – Энгельмановы Поляны" – 92 км, стоимость 154 млн. USD, срок создания (от начала финансирования) 4 года, окупаемость 6 лет, себестоимость проезда на участке "Сочи – Адлер" 0,25 USD/пасс., на участке "Сочи – Энгельмановы Поляны" 0,9 USD/пасс.

В рамках Проекта рассматривались и анализировались другие варианты прокладки трасс СТС, проходящие в менее сложных географических условиях, в частности, во 2-ом Критском транспортном коридоре – "Париж – Москва". Международная конференция по данному транспортному коридору, состоявшаяся в г.Минске в октябре 1997 г., в которой участвовали транспортники 14 стран, именно СТС рекомендовала Европейскому Союзу в качестве высокоскоростной составляющей Критских коридоров. С таким же предложением правительство Белоруссии обратилось в 1998 г. к правительству города Москвы. В этой связи необходимо отметить, что Совет Министров ЕС принял решение о выделении на девять Критских коридоров 400 миллиардов USD на период до 2010 г.

В настоящее время по программе СТС ведутся переговоры в Малайзии, Израиле, Китае, Тайване, ряде европейских стран. Но больше всего в такой высокоскоростной коммуникационной сети 21-го века нуждается Россия как самая большая страна мира с самой малоосвоенной территорией и с самыми плохими дорогами. Прошло более ста лет с высказывания великого русского писателя Николая Васильевича Гоголя, справедливое и сегодня, о том, что в России две беды: плохие дороги и дураки. Реализация СТС продемонстрирует всему миру, что в России в новом тысячелетии будут самые лучшие дороги и сделают это умные люди. И старт будет сделан в городке-курорте Сочи, а точкой отсчёта станет наш сегодняшний семинар.

**Основные экологические характеристики транспортных систем
(пассажиропоток свыше 1000 пасс./час, грузопоток свыше 1000 т/час)**

Вид транспорта	Удельный расход энергоресурсов (в литрах бензина на 100 пассажиро- или тонно-километров)		Выброс вредных веществ, кг/100 пасс.-км (или 100 т-км)	Изъятие земли под транспортную систему**, га/100 км
	Пассажирские перевозки	Грузовые перевозки		
1. Железнодорожный (до 100 км/час):				
• магистральный	1,1 – 1,4*	0,7 – 1,0*	более 0,1	300 – 400
• пригородный	1,2 – 1,5*	0,9 – 1,4*	-- // --	-- // --
• городской:				
- метрополитен	1,3 – 1,7*	-	-- // --	-
- трамвай	1,9 – 2,1*	-	-- // --	50 – 100
2. Автомобильный (100 км/час):				
• одиночный автомобиль:				
- в городе (средняя загрузка 1,6 пасс.)	4,7 – 6,3	6,6 – 11,1	более 1	200 – 300
- вне города (средняя загрузка 3,5 пасс.)	1,5 – 1,7	5,1 – 9,2	-- // --	300 – 500
• автобус				
- в городе	2,1 – 2,3	-	-- // --	200 – 300
-вне города	1,4 – 1,7	-	-- // --	300 – 500
• троллейбус	1,9 – 2,5*	-	более 0,1	200 – 300
3. Авиационный:				
• дальняя авиация (900 км/час)	4,7 – 9,2	51 – 73	более 10	20 – 50
• местная авиация (400 км/час)	14 – 19	152 – 202	более 50	10 – 20
4. Морской (50 км/час)	17 – 19	0,38 – 0,95	более 10	5 – 10
5. Речной (50 км/час)	14 – 17	0,57 – 1,4	-- // --	2 – 3
6. Нефтепроводный (10 км/час)	-	0,51 – 0,57	более 1***	50 – 100
7. Газопроводный (10 км/час)	-	5,7 – 6,1	более 1***	-- // --
8. Конвейерный (10 км/час)	-	4,7 – 9,2*	более 1	-- // --
9. Гидротранспорт (10 км/час)	-	2,3 – 4,7*	более 0,1	-- // --
10. Канатно-подвесные дороги (10 км/час)	0,3 – 0,5*	0,95 – 1,9*	-- // --	20 – 30
11. Поезд на магнитном подвесе (400 км/ч)	3,5 – 4,5*	-	-- // --	100 – 200
12. Высокоскоростная железная дорога (300 км/ч)	2,5 – 3,5*	-	-- // --	300 – 500
13. Монорельс (100 км/час)	1,5 – 2,5*	-	-- // --	50 – 100
14. Струнный транспорт**** (пассажирский – 10 мест, грузовой – 5 т груза) при скорости:				
- 100 км/ч (мощность двигателя 15 кВт)	0,17*	0,17*	менее 0,01	10 – 20
- 200 км/ч (мощность двигателя 35 кВт)	0,20*	0,20*	-- // --	-- // --
- 300 км/ч (мощность двигателя 90 кВт)	0,34*	0,34*	-- // --	-- // --
- 400 км/ч (мощность двигателя 200 кВт)	0,57*	0,57*	-- // --	-- // --
- 500 км/ч (мощность двигателя 400 кВт)	0,91*	0,91*	-- // --	-- // --

* пересчитано из расчёта 1 литр бензина = 8,78 кВт часа электроэнергии

** трасса с инфраструктурой

*** в виде разливов нефти и нефтепродуктов, выброса природного газа

**** оценка по аналогии с другими видами транспорта