

# АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ HYPERLOOP

Дудников Е.Е.

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН*

*Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная д.65*

[rvg-d35@yandex.ru](mailto:rvg-d35@yandex.ru)

*Аннотация: В докладе рассматриваются последовательные этапы развития транспортных систем Hyperloop, начиная с известного доклада Илона Маска в 2013 г по настоящее время. Даны оценки возможностей каждой из фирм в данной области стать победителем в процессе внедрения первой коммерческой системы Hyperloop.*

Ключевые слова: технология Hyperloop, высокоскоростные вакуумные поезда, пассажирская капсула.

## Введение

Поезд-капсула с пассажирами или грузом движется на магнитной или воздушной подушке внутри герметичного трубопровода с небольшим внутренним давлением воздуха, чтобы снизить сопротивление движению. Это позволяет достичь высоких скоростей и снизить энергетические затраты.

Начало работ по развитию транспортных систем Hyperloop связывают с появлением в августе 2013 г доклада известного американского инженера, изобретателя и успешного бизнесмена Илона Маска, посвященного описанию проекта новой сверхскоростной трубопроводной транспортной магистрали между двумя крупными американскими городами Лос-Анджелесом и Сан-Франциско [1]. Дорога предназначена для перевозки пассажиров и использует две трубы. По одной трубе капсулы двигаются из Сан-Франциско в Лос-Анджелес, по другой в обратном направлении. Диаметр трубы 2,23 м. Пассажирская капсула имеет размеры: 1,35 м в ширину, 1,1 м в высоту и 25-30 м в длину. Пассажиры в капсуле занимают отдельные места как в легковом автомобиле. Капсула вмещает два ряда мест по 14 мест в каждом ряду, т. е. всего 28 пассажиров.

Движение капсулы осуществляется с помощью линейного электродвигателя. Подвижный элемент двигателя (ротор) расположен на капсуле, в то время как статор двигателя закрепляется на дне трубы. Двигатель позволяет организовать разгон капсулы и её торможение. При разгоне капсула может достигать максимальной величины скорости в 1220 км/час. Весь путь между двумя городами длиной в 561 км капсула должна проходить за 35 мин.

При движении капсулы необходимо обеспечить минимальное трение между движущейся капсулой и стенками трубы, в которой она движется. Для этого предлагается ввести режим «воздушной подушки» вокруг капсула. Для реализации этого режима в конструкцию капсулы вводится специальная система. В передней части капсулы находится вентилятор и осевой компрессор. Встречный поток воздуха поступает на вход вентилятора, а затем на компрессор. Компрессор увеличивает давление поступающего воздуха в 20 раз и подает его в определенных пропорциях через систему выходных отверстий к разным частям поверхности капсулы. В итоге капсула двигается в трубе, окруженная потоками воздуха, которые не позволяют ей касаться стенок трубы.

Когда твердое тело движется в воздухе, впереди его появляется воздушная подушка, которая препятствует движению. Сила сопротивления движению увеличивается с увеличением скорости движения тела. Для уменьшения сопротивления воздуха предлагается установить в трубе давление в 100 Паскалей (1/1000 атмосферного давления). Для поддержания требуемого пониженного давления используется система вакуумных насосов.

Маск подсчитал, что для обеспечения работы всей системы потребуется 21 МВт электроэнергии, которую предполагается получить с помощью солнечных батарей, расположенных на внешней поверхности трубы. При этом имеющееся пространство позволяет разместить такое количество солнечных батарей, которые в целом могут сгенерировать 57 МВт, т.е. полностью покрыть затраченную энергию.

Капсула обеспечивает максимальную скорость только на прямых участках дороги, любые отклонения от прямолинейности приводят к снижению скорости. Поэтому основная линия Hyperloop в Калифорнии располагается вдоль прямолинейного шоссе, идущего с севера на юг. Из-за криволинейности маршрута в городских условиях Лос-Анджелеса и Сан-Франциско капсула снижает скорость на этих участках дороги.

На открытых участках магистраль располагается над землей и поддерживается железобетонными пилонами, которые фиксируют обе трубы на высоте 5 м, расстояние между пилонами 30 м. Такое

расположение дороги позволяет легко реализовать пересечения магистрали с другими дорогами, оврагами, насыпями и различными невысокими объектами. Маск определил длительность выполнения проекта в пять лет и оценил затраты в 6,5 млрд долларов, что почти в десять раз меньше суммы в 68,5 млрд долларов, выделяемых руководством штата на строительство скоростной железной дороги по тому же маршруту. Максимальная скорость поездов скоростной железной дороги планировалась на уровне 322 км/час.

## 1 Организация работы фирм

Сам Маск первоначально не предполагал заниматься этим проектом. По его инициативе в США были организованы две фирмы, не связанные с ним финансово, которые занялись развитием технологии Hyperloop путем разработки конкурентных проектов. Это фирма Hyperloop Transportation Technologies Inc. (HTT) и Hyperloop Technologies Inc., которая позже изменила свое название на Virgin Hyperloop One (VHO). Финансирование этих фирм осуществлялось за счет частных финансовых фондов. Позже к ним присоединилась известная в области космических разработок фирма SpaceX, принадлежащая Илону Маску, где был организован отдел со своей собственной программой в области Hyperloop.

Эти три фирмы должны были активно решать многочисленные технические проблемы, связанные с развитием новой технологии. Необходимо было построить специальные экспериментальные полигоны для проверки полученных технических решений и приступить к реализации конкретных проектов в США и других странах [2].

В процессе работы пришлось отказаться от ряда технических решений, предложенных ранее в докладе Маска. Разработчики не смогли реализовать схему «воздушной подушки» и использовали более дорогое решение – «магнитную подушку» на основе «магнитной левитации». Эффект левитации связан с появлением устойчивого миллиметрового воздушного зазора между движущейся и неподвижной поверхностями, который позволяет исключить трение между ними. Подобный эффект возникает, когда мы с определенной скоростью двигаем сильные магниты над проводящей поверхностью.

«Активная магнитная левитация» широко используется в современных скоростных поездах. Так, например, японские поезда используют магниты, охлажденные до сверхпроводящего состояния. Для работы этих магнитов требуются большие затраты энергии. Кроме того, они должны размещаться в поезде. Поэтому возникает дополнительная проблема, как эти большие объемы энергии передавать в движущийся поезд.

Фирма VHO стала разрабатывать специальный вариант «магнитной подушки», основанный на так называемой «пассивной магнитной левитацией», предложенной в 80-х годах известной Ливерморской национальной лабораторией им. Э. Лоуренса в США. Эффект левитации возникает в данном случае при использовании постоянных магнитов. Кроме этого, данный вид левитации не предъявляет таких высоких требований к уровню обработки внутренней поверхности трубы, как этого требует «активная магнитная левитация», что приводит к существенному снижению затрат [3].

Развитие технологии показывает необходимость увеличения диаметра труб, используемых в системах Hyperloop. Так фирма VHO для своей экспериментальной трубы выбрала диаметр 3,3 м, а для перевозки стандартных 20-футовых морских контейнеров в грузовой системе Hyperloop требуется диаметр трубы не менее 4,63 м [2].

Многие критики доклада Маска также указывают на то, что работающая система будет потреблять больший объем энергии, чем указано в докладе. Следует учесть, что, например, увеличение диаметра труб потребует увеличения мощности вакуумных насосов, обслуживающих систему. Поэтому возникает понятное сомнение, что система солнечных батарей может обеспечить все требуемые энергозатраты и необходимо искать другие источники энергии.

На сегодняшний день каждая из рассматриваемых фирм построила свой испытательный полигон. Фирма HTT подписала соглашение с правительством Франции о создании совместного исследовательского центра Hyperloop в Тулузе (Франция). В начале 2018 года было объявлено, что первой задачей нового центра станет строительство двух экспериментальных трасс, одна длиной 320 метров предназначена для испытаний грузовых капсул, а другая - 1000 метров - для пассажирских капсул. В начале 2019 года HTT объявила о завершении строительства шорт-трека длиной 320 метров и переходе к экспериментам на этом треке. Параллельно фирма заказала разработку экспериментальной капсулы известному испанскому производителю фюзеляжей самолетов Carbuces. Весной 2019 года испанские специалисты продемонстрировали вариант готовой пассажирской капсулы, капсула имеет в длину 30 м, вес 20 т и обеспечивает вместимость до 40 человек [2]

Фирма VHO построила в пустыне Невада рядом с г. Лас-Вегас (США) вакуумную трассу длиной 0,5 км и диаметром трубы в 3,3 м. В трубе поддерживается давление в 100 Паскалей. Через месяц на трассе начались испытания капсулы, разработанной фирмой. Капсула SP-1 имела длину 8,7 м, ширину и высоту 2,4 м. Позже была спроектирована капсула SP-2, рассчитанная на пассажирские перевозки в условиях низкого вакуума в трубе. Капсула могла вместить до 24 пассажиров [2].

В декабре 2017 года капсула разогналась до скорости 387 км/час, которая оказалась рекордной для этой трассы. Ряд экспертов, участвовавших в этих испытаниях, отметили, что если бы трасса была более длинной, то капсула показала бы существенно более высокие результаты, видимо, задача построения подобной экспериментальной трассы должна была стать одной из актуальных плановых задач фирмы [2].

Фирма SpaceX объявила о начале строительства своей испытательной трассы в начале сентября 2016 г. Формально строительство трассы было связано с международным Конкурсом по дизайну пассажирской капсулы Hyperloop (Hyperloop pod competition), объявленном SpaceX летом 2016 г, см. [2]. В этом конкурсе предполагалось участие студенческих команд ведущих технических университетов мира со своими моделями капсул Hyperloop с последующим испытанием этих капсул в гонке на экспериментальной трассе фирмы.

Международный конкурс продолжался вплоть до 2019 г, на трассе с «открытой» трубой диаметром 1,8 м и длиной 1 милю (1600 м). Все капсулы использовали принцип движения на магнитной подушке. Последние два года ежегодные финальные соревнования выигрывала команда Мюнхенского технического университета из Германии. В июле 2019 г их капсула достигла на трассе абсолютно рекордной скорости в 463 км/час. Следует отметить, что на одном из этапов соревнований была представлена капсула, разработанная совместно специалистами фирм SpaceX и Tesla. Эта капсула показала лишь скорость 355 км/час, которая меньше рекордной.

В настоящее время в большинстве проектов пассажирских сетей Hyperloop присутствуют простейшие структуры: магистрали, соединяющие две станции без промежуточных остановок и ответвлений. Примером может служить главная магистраль между городами Лос-Анджелесом и Сан-Франциско проект Hyperloop в Калифорнии (США), [1].

Главная магистраль системы на первом этапе не должна иметь боковых ответвлений, но на втором этапе структура системы усложняется и вводятся боковые ответвления: в районе Сан-Франциско на Сакраменто, в середине главной магистрали ветка на Фресно и в районе Лос-Анжелеса ветка на Лас-Вегас и ветка на Сан-Диего.

При расширении системы и появлении промежуточных остановок и ответвлений открываются возможности по представлению скоростного транспортного обслуживания для значительно большего числа граждан, однако при этом можно ожидать уменьшения основных показателей системы, связанных с её скоростными характеристиками. Здесь может помочь выбор надлежащей структуры системы и алгоритмов управления этой структурой. В работе [4] рассматриваются структуры системы Hyperloop, которые при расширении системы позволяют сохранить скоростные возможности системы. Основой исследуемых структур служит принцип разделения используемых пассажирских капсул на два функциональных класса: экспресс-капсулы и так называемые локал-капсулы. Экспресс-капсулы используют только главную магистраль, по которой проходят без остановок и задержек на максимально возможной скорости. Обслуживание боковых ответвлений и остановок поручается локал-капсулам. Эти капсулы передвигаются между остановками и ответвлениями с использованием главных магистралей. Требуется, чтобы они не мешали движению экспресс-капсулы по главным магистралям.

## **2 Время технико-экономических обоснований**

С первых дней идеи Hyperloop получили очень широкую известность в мире. В фирмы-разработчики начали поступать из различных стран сотни предложений по использованию систем Hyperloop для решения транспортных проблем в этих странах. Уже накопленный опыт позволил этим фирмам начать отбирать перспективные проекты и готовить вместе с авторами предложений технико-экономические обоснования для их реализации. Так фирма VHO выбрала девять проектов маршрутов сетей Hyperloop. Согласно этим проектам, сеть должна соединить Эстонию и Финляндию (здесь длина маршрута составляет всего 90 км, это - трасса, расположенная в подводном туннеле между Таллином и Хельсинки), а также пройти по Германии и еще нескольким странам. Предлагается построить ряд сетей в Великобритании, объединив Шотландию, Уэльс и другие регионы страны при помощи единой сети.

В США Координационное агентство Северо-Восточного Огайо Areawide, или NOACA, в партнерстве с фирмой НТТ провело технико-экономическое обоснование на сумму 1,3 миллиона долларов для разработки маршрута коридора Hyperloop из Чикаго в Питсбург. Сотни тысяч долларов уже вложены в проект. Совет директоров NOACA заключил контракт на сумму 550 029 долларов с компанией Transportation Economics & Management Systems, Inc.(TEMS) для технико-экономического обоснования проекта создания сверхскоростной пассажирской и грузовой транспортной системы Hyperloop в районе Великих озер.

В июле 2016 года фирма VHO выпустила предварительное исследование, в котором было высказано предположение, что города Хельсинки и Стокгольм на севере Европы можно соединить трассой Hyperloop, сократив время в пути между городами до получаса. По оценкам, затраты на строительство составили бы около 21 млрд долларов США [5].

По финской территории трасса пройдет от Хельсинки по суше до Турку, а затем спустится в подводный туннель, пересекающий Ботнический залив Балтийского моря. В середине залива туннель пересечет группу мелких островов Аланского архипелага, а затем выйдет на шведский берег, и по берегу трасса дойдет до Стокгольма.

К данному проекту примыкает другой проект в этом регионе. Это проект подводного туннеля, соединяющего Финляндию с Эстонией. Туннель называется FinEst Tunnel, [ 5]. Идея заключается в том, чтобы построить туннель, по которому скоростные поезда смогут доставить пассажира из Таллина в Хельсинки всего за несколько минут. Сейчас, чтобы добраться из одного города в другой через залив требуется от 90 минут до двух с половиной часов (все зависит от погодных условий).

Самое загруженное направление из Таллина и обратно — ежегодно им пользуется более 9 миллионов путешественников. По оценкам строительство туннеля обойдется в €15 миллиардов. Эксперты планируют, что к 2030 г им будет ежегодно пользоваться более 50 миллионов пассажиров.

Одной из важнейших целей строительства туннеля является возможность соединить Хельсинки с быстрой железнодорожной линией Rail Baltica (скорость поездов 250 км / час), которая начала строительство в 2010 г с предполагаемой датой завершения, установленной на 2026 год, которая должна соединить Польшу, Литву, Латвию и Эстонию и в конечном итоге открыть Балтийскую и Северную железные дороги в европейскую железнодорожную сеть.

В 2018 г фирма VHO совместно с руководством штата Миссури (США) разработала технико-экономическое обоснование создания в штате сети «Hyperloop Миссури», в котором была показана жизнеспособность подобной сети. Основу сети составляет скоростная магистраль, соединяющая такие крупнейшие города Миссури, как Сант-Луис, Канзас-Сити и Колумбия. Протяжённость магистрали составляет 399 км. Поезд Hyperloop должен проходить её за 25 мин, самолет пролетает за 1 час 10 мин, скорый поезд за 5 часов 40 мин, а автомобиль за 3 часа 45 мин. Время в 25 мин позволяет считать эти три города единым образованием с объединенными ресурсами, прежде всего, рабочей силой и населением. Население Канзас-Сити и Колумбии составляет 2,8 млн человек, а Сант-Луиса 2,2 млн человек, вместе это 5 млн. число человек больше, чем в Сан-Франциско и больше, например, чем в Бостоне. За счет одной супер-магистрали Hyperloop экономика штата получает ежегодно 410 млн долларов прибыли.

В марте 2019 года губернатор штата Миссури Майк Парсон объявил о создании группы "Blue Ribbon" для изучения специфики финансирования и строительства супер сети. В июне 2019 года было объявлено о партнерстве с известной Школой Сэма Фокса Вашингтонского университета Сент-Луиса для дальнейшего изучения различных предложений для Миссури Hyperloop [4].

В 2018 г в Индии появилась идея строительства высокоскоростной трассы, соединяющей столицу штата Махараштра город Мумбай и город Пуна, второй по величине город региона. Меморандум о взаимопонимании между правительством штата и фирмой VHO был подписан в 2018 году. Предполагалось, что Hyperloop свяжет Мумбай и Пуна и позволит преодолеть 180-километровое расстояние между двумя городами всего за 20 минут. Для крайне людного (127 миллионов) и самого индустриально развитого в Индии штата, суперскоростная система транспортной связи стала бы большим подспорьем в борьбе с негативными эффектами перенаселения. Озвучивался и порядок суммы, необходимой для строительства: десять миллиардов долларов.

Но в январе 2020 г власти индийского штата Махараштра решили приостановить участие в реализации проекта сверхскоростной магистрали Hyperloop. Об этом заявил изданию India Today заместитель главного министра штата Аджит Павар. «У нас нет возможности экспериментировать с Hyperloop. Мы сконцентрируемся на других видах транспорта. В то же время, если эта технология будет развиваться дальше с успешными испытаниями за рубежом, мы можем подумать об этом», - пояснил чиновник [4].

В 2019 году российский Институт проблем естественных монополий (ИПЕМ) в Санкт-Петербурге опубликовал экспертное мнение об экономической целесообразности строительства линии Hyperloop между Москвой и Санкт-Петербургом длиной 650 км и о потенциальной стоимости билета для пассажиров на этой линии [6]. В работе рассматривалось несколько вариантов проекта, но мы приведем здесь результаты расчетов для двухтрубного исполнения линии.

Оценка капитальных затрат произведена экспертами на основе технико-экономического обоснования строительства линии Стокгольм-Хельсинки без учёта стоимости выкупа земли под линию. Вместимость капсул определена в 40 мест, минимальные интервалы между отправлениями соседних капсул Hyperloop - 6 минут, предельная скорость — 1102 км/час, полные перегрузки — не более 0,5g. Срок окупаемости принят равным 20 годам. Минимальная стоимость строительства составит 1,18 трлн. руб. (\$18 млрд.), что в расчёте на 1 км пути дороже строительства конвенциональной двухпутной ВСМ с эксплуатационной скоростью до 400 км/час.

Максимально реализуемый пассажиропоток составит 5,2 млн человек в год, что не превосходит перевозки Сапсаном.

Стоимость билета для поездки одного пассажира в одном направлении в ценах 2019 года может составить не менее 27,5 тыс. руб. (\$421). Стоимость проезда, выраженная в долларах в расчёте на 1 км пути (0,4-0,7\$/км), сопоставима с оценкой стоимости проезда на линии Хельсинки-Таллин (0,5 \$/км), но в 3 раза меньше стоимости проезда на линии Мумбай-Пуна (1,6 \$/км). Все эти оценки в 10-40 раз больше первоначальных оценок стоимости проезда для линии Лос-Анджелес—Сан-Франциско проекта Маска (0,04 \$/км).

Государственная поддержка проекта может позволить значительно сократить минимальную стоимость билета для пассажиров (на 41,4% до 16,1 тыс. рублей или \$247), однако не сделает цену доступной для массового пользователя, что ставит под сомнение перспективность бюджетного софинансирования.

Реальное сокращение времени путешествия с учётом передвижения по городу к станции Hyperloop составит от трёх до двух часов или сокращение времени не более, чем в 2-3 раза.

Для окупаемости проекта клиентом такой системы может быть лишь долларовый миллионер, причём от 2,4% до 7,6% всех долларовых миллионеров России должны пользоваться системой Hyperloop ежедневно. Обычная аудитория не сможет обеспечить пассажиропоток, необходимый для окупаемости проекта в обозримой перспективе.

В связи с этим, по мнению специалистов ИПЕМ, строительство системы Hyperloop между Москвой и Санкт-Петербургом с расчётом на доход от эксплуатации выглядит нецелесообразным, даже несмотря на значительную потребность в росте транспортного сообщения между двумя агломерациями.

### **3 Кто первый поставит коммерческую систему Hyperloop?**

С момента появления доклада Маска в 2013 г прошло уже восемь лет, но ни одной из фирм не удалось построить реально работающую систему Hyperloop.

Наиболее близка к успеху была фирма НТТ. Эта фирма имеет предварительные соглашения с рядом заказчиков в Центральной Европе и в Азии на разработку проектов пассажирских магистралей Hyperloop. Но наиболее реальными для внедрения считаются два проекта. Это трасса длиной 10 км между аэропортом Аль-Мактаме и местом проведения выставки Экспо-2020 в Дубае (Объединенные Арабские Эмираты -- ОАЭ) и похожая трасса между городом Тунжань (Китай) и местным аэропортом. Для реализации последнего проекта НТТ учредила совместное предприятие с муниципалитетом китайского города [2].

Предварительно широко рекламировалось открытие трассы в ОАЭ в 2020 г. Но на Всемирном экономическом форуме в Давосе в 2019 г глава фирмы НТТ Дирк Алборн обещал запустить коммерческую эксплуатацию Hyperloop в ОАЭ в 2022 г. Позже этот срок передвинулся на 2023 г. Будет ли этот новый срок выдержан мы узнаем в будущем.

О китайском проекте фирмы НТТ, сроках его реализации нет достоверной информации.

Наиболее основательно, по нашему мнению, с проработкой всех аспектов технологии готовится к внедрению как в области пассажирских, так и в области грузовых перевозок фирма VHO.

В мае 2018 г компания объявила о том, что создала совместное предприятие с третьим по величине в мире портовым оператором DPWorld, которое будет называться DP World Cargospeed. Цель предприятия - применить технологию Hyperloop для построения грузовых транспортных систем морских портов, прежде всего, морского порта Джебель-Али в эмирате Дубай (ОАЭ). Задача заключается в том, чтобы с мест разгрузки пребывающих в порт судов контейнерные грузы

отправлялись на склады, расположенные в радиусе 20 км от порта. В свою очередь грузы со складов поступали в порт и загружались на определенные уходящие из порта суда. В настоящее время эти операции осуществляются специальным грузовым транспортом, что приводит к серьезным транспортным проблемам в районе порта и в целом в городе. Внедрение системы Hyperloop позволит решить транспортные проблемы в городе и стабилизировать грузовые потоки между складами и судами в порту [2].

Если подобные системы окажутся эффективными, DP World готова внедрить их на большинстве из своих 77 грузовых терминалов, расположенных в более чем 40 странах мира. Разработка этой задачи стала особо реальной в связи с тем, что после ряда преобразований в руководстве фирмы VHO президентом фирмы стал президент DP World Султан Ахмед бен Сулайем.

Фирма VHO получила важный результат в развитии пассажирских вариантов систем Hyperloop. В ноябре 2020 года фирма осуществила пробную перевозку двух пассажиров примерно на 500 метров в специальной капсуле, проходящей в вакуумном туннеле на испытательном полигоне фирмы в Неваде. Капсула развила скорость 170 км/ч, вся поездка заняла 6,25 секунды. В настоящее время VHO строит десятикилометровую испытательную трассу в Западной Вирджинии и планирует запустить коммерческий вакуумный поезд в 2021 году.

На последнем этапе международного Конкурса по дизайну пассажирской капсулы Hyperloop в 2019 г присутствовавший на соревнованиях Илон Маск обещал, что к следующим соревнованиям летом 2020 г фирма SpaceX построит в районе расположения фирмы герметичную вакуумную подземную трассу длиной в 10 миль (16,1 км). Говорят, что, несмотря на Пандемию коронавируса, Маск построил трассу и собирается её открыть в 2021 или в 2022 г в день продолжения Конкурса. Это будет знаменательное событие.

Следует отметить, что все основные фирмы отказываются от выполнения исходного проекта – построения магистрали Hyperloop между городами Лос-Анджелесом и Сан-Франциско, подробно рассмотренного в докладе Маска в 2013 г [1].

Возможно, что причина этого связана с тем, что фирмам и самому Маску не удалось договориться с достаточно консервативным руководством штата Калифорния о замене давно запланированного проекта скоростной железной дороги на проект Маска.

Каждая из фирм выбрала свой большой американский проект. Фирма НТТ разрабатывает технико-экономическое обоснование создания сверхскоростной пассажирской и грузовой транспортной системы Hyperloop района Великих озер на основе системы Hyperloop, первоначально связывающей города Кливленд и Чикаго. Фирма VHO активно работает над трассой Hyperloop в Техасе которая будет проходить от Даллас-Форт-Уэрта на юг через Остин и Сан-Антонио, прежде чем закончиться в Ларедо. А Маск совместно с фирмой SpaceX планирует построить подземный туннель с трассой Вашингтон-Нью-Йорк.

#### **4 Илон Маск предлагает новое решение**

В декабре 2018 г Илон Маск открыл 2-мильный (3 км) туннель под Лос-Анджелесом. В презентации автомобиль Tesla Model X ехал в туннеле по заранее заданной трассе (а не в трубе низкого давления). По словам Маска, затраты на эту систему составляют 10 миллионов долларов. Маск сказал: «петля — это ступенька к Hyperloop. Петля предназначена для транспортировки внутри города. Hyperloop предназначен для транспортировки между городами, и это будет идти гораздо быстрее, чем 150 миль в час».

Туннель для трассы поручено было строить новой фирме Маска Boring Company, организованной в 2017 г [7].

Илон Маск создал данную фирму для разработки новых технологий строительства подземных туннелей. Этот интерес к туннелям был прямо связан с Hyperloop магистралями. Прокладывание Hyperloop магистралей в условиях городской застройки связано с громадными затратами и неэффективными маршрутными решениями. Использование подземного туннеля позволяет достаточно свободно выбирать маршрут магистрали, в частности, обеспечить его прямолинейность, а это позволяет достигнуть высоких скоростных характеристик на всех отрезках дороги.

К сожалению, в настоящее время использование существующих туннельных технологий связано с большими дополнительными материальными затратами и большими сроками выполнения строительных работ. Поэтому перед новой фирмой Boring Company Маск поставил амбициозную задачу: в короткие сроки разработать такую технологию прокладки подземных туннелей, которая обеспечивала бы десятикратное увеличение производительности работ и десятикратное уменьшение стоимости строительства по сравнению с существующими методами.

Известно, что компания Boring Company в 2019 году закончила строительство туннеля Hyperloop, связывающего центр города Лос-Анжелес с международным аэропортом. Время в пути для пассажиров аэропорта составит 8 минут. В настоящее время Маск строит туннель протяженностью 10,3 мили (16,6 км), соединяющий пригород города Балтимора с местечком Ганновер в штате Мериленд на атлантическом побережье США. Возможно, что этот туннель будет частью подземной магистрали Hyperloop между городами Вашингтоном и Нью-Йорком.

## Заключение

Представленный в докладе материал показывает, что данная отрасль не умерла, а продолжает развиваться. Естественно, Пандемия нанесла отрасли определенный урон, замедлила развитие, исключила некоторых важных участников, например Индию, но основные страны-участники устояли.

По мнению автора доклада в ближайшие два-три года можно ожидать появления коммерческой версии системы Hyperloop. Скорее всего это произойдет в ОАЭ, США или Европе. Подобная система сегодня требует больших капиталовложений. Поэтому во внедрении подобной системы требуется активное участия Правительства государства, где происходит это внедрение. Государства ОАЭ готовы финансировать несколько проектов систем Hyperloop. Европе после пандемии будет пока сложно поддерживать подобные внедрения. Китай имеет самую обширную программу развития скоростных железных дорог пока официально не определил своего отношения к технологии Hyperloop. В США ведутся работы по нескольким проектам Hyperloop. О положительном отношении к этим работам Федерального Правительства США можно судить по недавнему представлению фирме Boring Company Маска второго экспериментального участка на возможной будущей магистрали Вашингтон-Нью-Йорк теперь уже на окраине Вашингтона. В России какие-либо серьезные работы в этом направлении не ведутся, что гарантирует в будущем отставание в возможно очень важном секторе транспортного строительства.

## Литература

1. Hyperloop Alpha (pdf). SpaceX (12 August 2013). The first concept of the system proposed by Elon Musk on August 12, 2013.
2. *Dudnikov.E.E.* Advantages of a new Hyperloop transport technology / Proceedings of the 10th International Conference "Management of Large-Scale System Development" (MLSD). М.: IEEE, 2017. <http://ieeexplore.ieee.org/document/8109613/>.
3. *Краузова Е.* Кнут Зауэр: «Физика в основе Hyperloop не космически сложная» //Forbes: 2 июня 2016.
4. *Dudnikov E.E.* Structure of Hyperloop Systems with Intermediate Station / Proceedings of the 12th International Conference "Management of Large-Scale System Development" (MLSD). М.: IEEE, 2019. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/891104>
5. This Is the €15 Billion Tunnel Connecting Helsinki to Tallinn. <https://rb.ru/story/finest/> (19.02.2019).
6. ИПЕМ. Hyperloop Москва-Санкт-Петербург: сколько может стоить проект для инвестора и пассажира?. Экспертное мнение Института проблем естественных монополий (5 июля 2019)
7. [www.boringcompany.com](http://www.boringcompany.com)