

Hyperloop – современное состояние и будущие задачи

В.П.Куприяновский, А.А.Климов, В.В.Аленьков, О.Н. Покусаев, А.П.Добрынин

Аннотация — Hyperloop был впервые предложен в работе 2013 года американским предпринимателем Элоном Маском, в которой изложена система на основе труб, в которых контейнеры перевозили бы пассажиров или груз на высокой скорости в условиях низкого трения.

Ряд организаций в настоящее время работают над разработкой и коммерциализацией этой технологии. Ожидаемый конечный результат - высокоскоростная транспортная система, которая по сравнению с обычными самолетами, поездами или автомобилями очень энергоэффективна из-за отсутствия сопротивления воздуха и сопротивления качению. Реализация концепции Hyperloop может революционизировать междугородные перевозки, поскольку она может быть быстрее, чем авиация, ее дешевле строить, чем высокоскоростные железные дороги, она будет потреблять мало энергии, она должна быть доступной для населения и не будет зависеть от погоды. По мере развития исследований и технико-экономических обоснований, а также создания все большего числа прототипов и испытательных треков, возникает резонный вопрос - является ли этот пятый вид транспорта будущим междугородным поездом, или он останется в сфере научной фантастики?

Ключевые слова — транспорт, Hyperloop.

I. ВВЕДЕНИЕ

Наша планета меняется быстрее, чем когда-либо в истории человечества. Потребовалось 200 000 лет человеческой эволюции, чтобы к 1800-м годам население достигло 1 миллиарда; за 200 лет, прошедших с тех пор, как мы увидели семикратный рост жителей планеты, к 2050 году ожидается увеличение численности населения до 10 млрд. человек. С этим ростом населения связана взрывная урбанизация: в 1800 году 3% населения мира жили в городских условиях, а к 2050 году 70% из нас будут городскими жителями. Мегалополисы определены в населенных пунктах с количеством жителей более 10 миллионов человек. В 1950 году был только один город-мегаполис (Нью-Йорк), а сегодня мы приближаемся к 50, как в промышленно развитых, так и в развивающихся

странах.

В связи со взрывной урбанизацией, мы видим города с неадекватным жильем, недостаточной инфраструктурой и услугами, переполненными транспортными системами, плохим водоснабжением и санитарией, растущим загрязнением и усиливающимися последствиями стихийных бедствий. Появились новые вызовы для человечества, такие как изменение климата и новые пандемии.

Все это означает одно: мы быстро исчерпываем жилое пространство поверхности земли, и это подогревает ненасытный аппетит, чтобы использовать пространство под нашими ногами или в море. Так, например, сектор туннелирования и подземного космоса в настоящее время оценивается в 100 миллиардов долларов США в год, а его рост в 7% в год является одним из самых быстрорастущих секторов строительной индустрии [1].

Изобретение железных дорог было великим началом всех сегодняшних видов транспорта, и физический принцип рельсового движения оказался крайне экономически эффективным, позволяющим экологическим образом в соединении с электрификацией перемещать в городах и между ними людей и грузы, а метрополитены (подземные железные дороги) сегодня быстро заполняют подземное пространство городов.

Но жизнь не стоит на месте и прогнозы развития и текущее состояние заставляют искать новые дополнительные транспортные решения и модернизировать старые. Так сегодня

1. Ожидается + 430% рост международного грузового транспорта к 2050 году (OECD).
2. Построено 1,37 миллиона км железнодорожных линий во всем мире, и из них только 3% на высоких скоростях (World Bank Group).
3. Транспорт составляет 25% выбросов общего объема выбросов парниковых газов (NOAA ESRL).
4. 93% от мировой нефтяная зависимость это транспорт (Eurostat).

В транспорт и транспортные инфраструктуры вожены невероятные средства, но когда они создавались то в требованиях к ним ни глобальное потепление, ни пандемии не учитывались и новые виды транспортных систем, конечно, уже будут строиться с их учетом. Идет интенсивный поиск новых транспортных решений и систем. Одной из таких новых транспортных систем сегодня является Hyperloop, который развивается последние годы достаточно необычно и быстро, а сегодня Hyperloop, так или иначе, находится в лучах

Статья получена 10 июня 2020.

В.П.Куприяновский – РУТ (МИИТ) (email: v.kupriyanovsky@rut.digital)

А.А.Климов – РУТ (МИИТ) (email: aaklimov1961@gmail.com)

В.В. Аленьков Заместитель председателя Правительства Сахалинской области (email: alenkov@mail.ru)

О.Н.Покусаев – РУТ (МИИТ); buildingSmart Россия (email: o.pokusaev@rut.digital)

А.П. Добрынин - МГУ имени М.В. Ломоносова (email: andrey.p.dobrynin@gmail.com)

успеха его основателя Элона Маска. После успешного запуска космонавтов на МКС и быстрого коммерческого развития электрических автомобилей TESLA (кроме легковых электрических автомобилей начинается производство грузовых), а также систем хранения электричества практически для всех сегментов рынка. В настоящей работе мы решили представить свое видение современного состояния Hyperloop и грядущих задач его развития, базируясь в основном на данных ЕС и США.

II. КАК РАЗВИВАЕТСЯ HYPERLOOP

Hyperloop был впервые предложен в работе 2013 года американским предпринимателем Элоном Маском, в которой изложена система на основе труб, в которых контейнеры перевозили бы пассажиров или груз на высокой скорости в условиях низкого трения.

Ряд организаций в настоящее время работают над разработкой и коммерциализацией этой технологии. Технические аспекты каждого предложения различаются; однако ключевые элементы каждой такой системы включают:

- Трубу, содержащую контролируемую среду низкого давления;
- Запечатанные контейнеры, перевозящие груз или пассажиров; а также
- Системы для левитации и ускорения капсул (стручков) внутри трубы и управления.

Ожидаемый конечный результат - высокоскоростная транспортная система, которая по сравнению с обычными самолетами, поездами или автомобилями очень энергоэффективна из-за отсутствия сопротивления воздуха и сопротивления качению.

В проекте Hyperloop таким образом были скомбинированы принципы железнодорожного движения по направляющим, магнитной левитации (MAGLEV), пневматической почты и других достижений человечества. Однако эта комбинация оказалась не простой для практического использования.

Хотя концепция Hyperloop не нова, ее основные особенности были раскрыты в открытом формате 2013 году Элоном Маском, основателем Tesla и Space X, с публикацией его белой книги Hyperloop Alpha [16]. Этот способ транспортировки позволил бы быстро перемещать людей или грузы в капсулах (POD, стручки), перемещаемых магнитным полем во взвешенном состоянии через двенаправленные трубы низкого давления. Эти трубы могут быть построены под или над землей, и пассажиры могут входить и выходить из капсул на станциях, расположенных в конце труб или в любом месте по длине трубы, имеющем соответствующее оснащение.

С самого начала концепция привлекла интерес не только общественности, но и научного сообщества, инженеров и правительств. Реализация концепции Hyperloop может революционизировать междугородние перевозки, поскольку она может быть быстрее, чем авиация, ее дешевле строить, чем высокоскоростные железные дороги, она будет потреблять мало энергии, она должна быть доступной для населения и не будет

зависеть от погоды. По мере развития исследований и технико-экономических обоснований, а также создания все большего числа прототипов и испытательных треков, возникает резонный вопрос - является ли этот пятый вид транспорта будущим междугородних поездов или он останется в сфере научной фантастики?

В официальном документе Space X Hyperloop была представлена концепция транспортировки с открытым исходным кодом, что привело к созданию нескольких компаний, таких как канадская компания TransPod и американские компании Hyperloop Transportation Technologies (Hyperloop TT) и Hyperloop One. С тех пор были разработаны капсульные прототипы, такие как Quintero One Hyperloop TT, и были построены испытательные трассы, такие как Hyperloop One в пустыне Невада. Между этими компаниями и различными правительствами было также подписано несколько соглашений о проведении технико-экономических обоснований в пределах их собственной юрисдикции.

Элон Маск также объявил о существовании The Boring Company в декабре 2016 года [19], которая занимается прокладкой туннелей и другими строительными работами, в том числе, для Hyperloop. В последние годы прокладка подземных коммуникаций в мире сталкивалась со значительными и чрезмерными перерасходами крупных проектов в области туннелирования из-за плохого выбора закупок, усугубляемого не качественным управлением контрактами. Туннельные проекты часто закупаются с использованием неполного эталонного проекта, который затем должен быть разработан организацией, занимающейся проектированием и конструированием. Однако слишком часто в этом процессе закупок возникают противоречия между эталонным дизайном, условиями планирования, ненужными техническими спецификациями Клиента и функциональными требованиями для проекта.

Новое мышление крайне необходимо в работах под землей. Эффективное и устойчивое освоение подземного пространства крайне необходимо, если мы хотим сохранить или даже остановить снижение качества жизни нашего городского населения. Именно для решения проблемы стоимости туннельных работ и была создана The Boring Company. Неповторимым образом сам Элон Маск недавно призвал мировых строителей туннелей снизить стоимость туннелирования на 90% [1].

Крайне мало сообщается о том, какие цифровые решения используют компании Элона Маска, между тем без них невозможны успешные полеты в космос или создание современных автомобилей. Например, электромобили TESLA уже сегодня производятся с одной из самых развитых систем помощи водителю (ADAS), развертывание сети Tesla robotaxi должно быть проведено в 2020 году в США, но пока остановлено из-за COVID-19 [23]. Все это свидетельствует о высочайшем уровне компаний Элона Маска в современных цифровых технологиях и, следовательно,

их взрывных возможностях в разных секторах цифровой экономики. Приведем также два прямых примера построения цифровых коалиций компаниями Маска

В строительстве, как известно, именно цифровые технологии BIM являются теми решениями, которые способствуют кардинальному снижению стоимости на всем жизненном цикле. И именно по этому направлению было подписано соглашение в ноябре 2019 года [24], в котором Autodesk и Virgin Hyperloop One объявили о совместных усилиях по исследованию передовой оптимизации маршрутов, проектирования транспорта и строительных технологий для изучения новых возможностей с тем, чтобы повысить ценность информационного моделирования зданий (BIM) для оптимизации транспортных маршрутов и улучшения процессов цифрового проектирования и строительства. Напомним читателю, что технологии Autodesk лежат в основе большей части построенного мира повсюду и, учитывая, как сказано в совместном заявлении: «что к 2050 году население планеты достигнет 10 миллиардов человек, методы проектирования и строительства инфраструктуры и способы перемещения людей и товаров должны измениться. У нас есть выбор: либо принять ожидаемый рост, либо стать подавленным. Virgin Hyperloop One и Autodesk вместе помогут решить предстоящие задачи» [24].

В настоящее время Virgin Hyperloop One уже использует множество решений Autodesk в области дизайна, включая Civil 3D, InfraWorks, Revit и Inventor. Virgin Hyperloop One также внедряет платформу доставки проектов Autodesk BIM 360 и инструменты глобального облачного сотрудничества [24]. Таким образом заявление Элона Маска о взрывном снижении затрат на туннели представляется нам в целом разумным и выполнимым, особенно с учетом инновационных новых методов физического туннелирования [1].

Virgin Hyperloop One также сотрудничает в том, что касается цифровых решений и с одним из лидеров рынка AR/VR компанией VIATechnik. Вот одно из этих свидетельств [26]:

«VIATechnik был свидетелем этого движения из первых рук во многих наших проектах. Одна из них - наше сотрудничество с Virgin Hyperloop One - включает в себя масштабы моделирования, выходящие за рамки большинства традиционных приложений: от небольших болтов и проводов до всей окружающей топографической области. По мере того, как эти приложения 3D-рендеринга станут более доминирующими в индустрии АЕС, масштабы моделирования также станут более продвинутыми и запутанными, что потребует большей степени вычислительной мощности и сенсорного опыта».

Генеральный директор Virgin Hyperloop One Джеем Уолдер человек опытный в очень разных транспортных вопросах, ранее он руководил Citibike, МТА в Нью-Йорке, лондонским метро и системой общественного транспорта Гонконга, с оптимизмом смотрит на способность компании не только совершенствоваться, но и полностью изменять наше понимание поездок на

дальние расстояния, так как прекрасно осведомлен о решающей роли цифровых решений на всех видах транспорта. Кроме того, в составе компаний Э.Маска есть свой солидный блок цифровых компаний, например, в области связи и искусственного интеллекта.

III. ЭТАП СРАВНЕНИЯ СКОРОСТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ТРАНСПОРТА

В июле 2016 года Национальное управление по авионавигации и исследованию космического пространства (НАСА) и Института национальные транспортные системы DOT Volpe опубликовали анализ выполнимости Hyperloop [18]. Особенно интересовал исследователей маршрут, предложенный Элоном Маском между Лос-Анджелесом и Сан-Франциско в его официальном документе. Так как это далеко не мягкий документ, на аргументацию которого, так или иначе, ориентировались и создатели Hyperloop и заказчики Hyperloop, то мы решили его расширенно представить читателю.

Hyperloop, как сказано в [18], предлагает значительные преимущества с точки зрения времени в пути и частоты отправления по сравнению с авиaperелетом, Maglev и высокоскоростным железнодорожным транспортом. Однако, несмотря на частые отправления Hyperloop, он, кажется, не вмещает больше пассажиров в час, чем Maglev или высокоскоростная железная дорога, и нет уверенности в том, что Hyperloop более энергоэффективен [18].

В работе [17], подготовленной для канадского парламента на базе [18], сравниваются технологии Hyperloop, самолетов, Maglev и высокоскоростных железных дорог по частоте отправок, источнику питания, емкости, средней скорости и времени в пути между Сан-Франциско и Лос-Анджелесом. Hyperloop был бы первым по частоте с 30-120 отправок в час, но капсулы разместили бы меньше пассажиров, чем другие виды транспорта. Как и ВСМ и Maglev, Hyperloop будет использовать электричество в качестве источника энергии. Средняя скорость Hyperloop составит примерно 966 км / ч, что более чем в два раза быстрее, чем у самолета и Maglev. Время в пути между Сан-Франциско и Лос-Анджелесом может составлять 35 минут с Hyperloop, по сравнению с 83 минутами по воздуху или 160 минутами по калифорнийской высокоскоростной железной дороге.

Конечно, для всех видов наземного транспорта путешествие с высокой скоростью по воздуху при атмосферном давлении очень не энергоэффективно. Коэффициент сопротивления воздуха пропорционален кубу скорости, и это объясняет, почему суперкарам необходимо удвоить свою мощность, чтобы достичь максимального увеличения скорости всего на несколько километров в час. На скорости 400 км / ч воздух ощущается как масло, и его очень трудно убедить его уйти с дороги. Для Hyperloop это было изначально заложенным преимуществом, при прочих условиях позволяющим надеяться на успех. Hyperloop – возникающий новый вид транспорта, который является

попыткой удачной комбинации ранее разрозненных подходов. Новое, прежде чем стать реальностью, всегда конкурирует с тем, что есть, а сегодня на железнодорожном принципе - это решения ВСМ (HSR) и магнитной левитации (MAGLEV). И только тогда есть надежда на успех нового, когда будут учтены их особенности и многие факторы стоимости строительства, эксплуатации в транспортных системах, а также принятия этих решений обществом.

Из перечисленных выше, ВСМ (HSR) является самой развитой железнодорожной системой в настоящее время. Согласно данным, предоставленным МСЖД, в 2016 году в 13 странах эксплуатировалось около 29 000 км линий, перевозящих около 1,6 млрд. пассажиров в год, и еще 15 000 км находилось в стадии строительства. Более того, на ближайшие годы запланированы еще тысячи, хотя будущее ВСМ в Европе в настоящее время обсуждается как на академических, так и на политических форумах [2,3], из-за его высоких затрат на строительство и обслуживание и отсутствия экономической жизнеспособности. Это стало очевидным, например, в Испании, где линии AVE не выгодны даже в коридоре Мадрид-Барселона [4].

С другой стороны, предполагается, что MAGLEV обладает рядом преимуществ перед ВСМ (HSR). С одной стороны, он обладает экологическими преимуществами, такими как снижение выбросов и сокращение использования и фрагментации земель, поскольку он перемещается на возвышенных сооружениях. С другой стороны, его структура гарантирует более высокую безопасность, поскольку нет пересечений с другими транспортными средствами, а сама природа движущей силы предотвращает столкновение транспортных средств. В нем также представлены усовершенствования в отношении работы, такие как более короткое время ускорения и замедления и расстояния, которые подразумевают более короткое общее время движения на равных скоростях. Наконец, с точки зрения пассажира, он обеспечивает больший комфорт, частоту, вместимость и надежность.

Эти преимущества делают MAGLEV потенциальной альтернативой ВСМ, но, по правде говоря, его развитие все еще незначительно. Основная причина заключается в том, что главный недостаток ВСМ (HSR), то есть стоимость строительства и эксплуатации, сильно усугубляется в случае MAGLEV, как для строительства инфраструктуры, так и для энергии, необходимой для ее работы. В то время как средняя стоимость ВСМ составляет около 18 миллионов евро за километр, согласно данным 2005 года, линия MAGLEV до аэропорта Шанхая стоила в среднем 33 миллиона евро / км, а будущая стоимость SCMAGLEV - около 125 миллионов евро / км [3,5]. Этот недостаток в сочетании с трудностями управления инцидентами (что стало очевидным в результате аварии на испытательном полигоне Emsland в 2006 году), более высокие уровни шума и вибрации, а также его несовместимость с существующими сетями, препятствовали расширению MAGLEV по всему миру и сделали его отключенной

системой с сомнительным будущим потенциалом.

Впрочем, есть крайне интересные варианты эволюционного развития скоростной системы, как нам кажется переключаясь с трудами российских исследователей [5, 6]. Так, базирующаяся в Варшаве Hyper Poland, обещает поставить новый тип поездов, гибриды традиционных рельсов и maglev, которые могут использовать существующую железнодорожную инфраструктуру. Преимущество этого позволяет модернизировать существующие железнодорожные линии без необходимости создания совершенно новой инфраструктуры, необходимой для технологии maglev. В компании есть специалисты, которые ранее работали с Airbus, Bombardier и японским Shinkansen. Конечная цель - создать транспорт в стиле Hyperloop. Три этапа в плане реализации [8] показаны на рисунке 1.

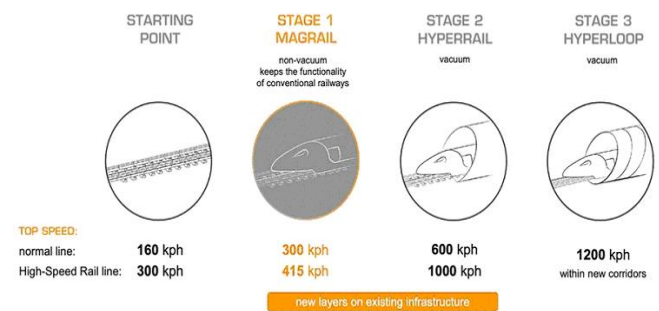


Рис. 1. Возможности и предполагаемые этапы трансформации от железной дороги к Hyperloop с использованием технологий MAGLEV [8].

IV. ОБРАЗОВАНИЕ КОМАНД И КОМПАНИЙ

Есть некоторые особенности образования компаний по тематике Hyperloop, который, как нам кажется, стоит представить читателю. Так уже несколько лет и в настоящее время Hyperloop находится в процессе увлекательного участия в разработке своего оригинального дизайна с участием мирового научно-технического сообщества. В рамках этой инициативы, например, в начале 2016 года, SpaceX организовал конкурс дизайна Pod (их за форму называют часто стручками), в котором приняли участие 120 команд, в основном из студентов-инженеров из университетов всего мира. Конкурс Hyperloop Pod Competition - это ежегодный конкурс, спонсируемый SpaceX в 2015–2019 годах. В нем участвуют несколько команд студентов и студентов, которые участвуют в разработке, а для некоторых в создании прототипа транспортного средства меньшего масштаба для демонстрации технической осуществимости различных аспектов концепции Hyperloop. Соревнования были открыты для участников во всем мире, хотя все соревнования и судейство проходили в Соединенных Штатах. Соревнования 2020 года уже запланированы на намного более длинной 10-километровой трассе, что в десять раз больше, чем на 1-километровая трасса, использовавшаяся в первые несколько лет ежегодного соревнования [7]. Документы, подготовленные для этих

соревнований, публикуются открыто, и они довольно подробно и объемны [14].

В молодежной среде такой успех невероятно ценится. Вот пример того, как об этом сообщают в очень уважаемом Мюнхенском технологическом университете: “Студенты Мюнхенского технологического университета (TUM) снова выигрывают конкурс Hyperloop - четвертую победу подряд. На максимальной скорости в 288 миль в час (463 км / ч) Hyperloop-команда TUM оставила далеко позади все другие команды в международном соревновании” [15].

Нам видится, что ставка Hyperloop на активную молодежную университетскую среду является очень важной: среди команд – победителей были представители очень многих известных учебных заведений, и они создавали целые направления в университетах Испании, Нидерландов, США, Швеции, Великобритании и т.д. Из сработавшихся команд образованы многие активные реальные компании по тематике Hyperloop, защищено множество диссертаций. Вот совсем небольшой перечень такого рода работ [9-13]. Часто темами диссертаций были обоснования строительства системы Hyperloop для конкретной страны, например Швеции [13], Швейцарии [12] и других стран.

Hyperloop обычно изображается в надземной трубе, но концепция будет одинаково хорошо работать под землей, особенно на маршрутах между перегруженными городами. Более 20 лет назад ученые в Швейцарии разработали концепцию Swiss Metro. Идея заключалась в том, чтобы использовать поезда, спроектированные в соответствии со стандартами самолетов, и использовать их в эвакуированных туннелях. Идея также заключалась в том, чтобы присоединиться к каждому из крупных городов Швейцарии и измерять время в минутах, а не в часах. В работе [12] эта старая концепция была рассчитана для Hyperloop. Результаты расчётов представлены на рисунке 2.

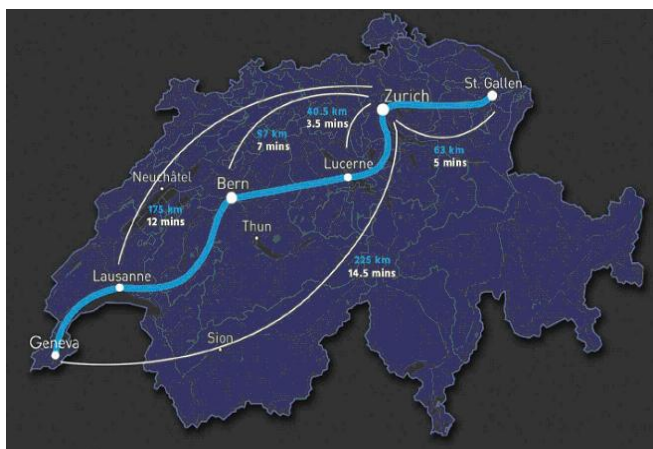


Рис. 2. Идеи Swiss Metro, рассчитанные на технологиях Hyperloop с указанием времени в пути в минутах [12]

V. РАЗВИТИЕ HYPERLOOP В США

Видимо, высказывание, что нет пророка в своем отечестве справедливо и в США. Рост интереса к Hyperloop в США, как утверждается в [20], стали ближе к реальности после прогресса Hyperloop в Индии, на Ближнем Востоке и в Европе. Поддержка властей в США растет с созданием Совета по нетрадиционным и развивающимся транспортным технологиям (NETT), созданием панели «Голубая лента» в Миссури и посещением испытательного трека Hyperloop One в США в Лас-Вегасе, штат Невада, членами федерального правительства. В Вашингтоне, округ Колумбия, в мероприятии Hyperloop on the Hill недавно приняли участие 400 членов Конгресса и федеральных заинтересованных сторон, что дало возможность ознакомиться с технологией из первых рук [21]. Этим летом 2020 года Virgin Hyperloop One планировал продолжить путешествовать по США, чтобы продолжить демонстрировать свой пассажирский отсек XP-1 (рисунок 3), пообщаться с общинами и рассказать местным органам власти и правительствам штатов об ощутимых преимуществах Hyperloop [21]. Заметим, что XP-1 прошел успешно первые испытания в трубе в 2017 году и имеет размерность автобуса.



Рис. 3. Пассажирский отсек XP-1 в испытательном центре Virgin Hyperloop One. Поскольку эти отсеки (стручки) путешествуют в трубе, они не подлежат отключению из-за погодных условий (источник -The New York Times).

В [35] было отмечено что «С точки зрения физики гипер-петля выполнима», - сказал Гарретт Рейсман, профессор космонавтики в Университете Южной Калифорнии. Он ожидает, что технические проблемы будут решены». Мы решили показать визуально нашему читателю как они уже решаются. Во-первых, создана целая трубная система, в основе которой одна из самых продвинутых энергетических систем в мире. Поверхность трубы используется для установки солнечных панелей, избытки электричества хранятся в батареях накопления, производимых на управляющей системе микрогридов. О том, как микрогриды строятся на оборудовании TESLA можно посмотреть в [39].

Помимо рисунка 3, взятого из великолепно снятого фоторепортажа для The New York Times (кто сказал, что техника должна быть некрасивой?) мы решили показать читателю и другие фотографии, чтобы показать готовность инфраструктуры визуально. На рисунке 4

показан XP-1 в трубной системе, подготовленный для перемещения. Часть вакуумного оборудования на полигоне Virgin Hyperloop One показана на рисунке 5. Низкое давление в вакуумной трубе Hyperloop сводит к минимуму трение и сопротивление воздуха, значительно снижая необходимую мощность. Часть энергетической системы для работы трубной системы на полигоне Virgin Hyperloop можно увидеть на рисунке 6.

Электрические и цифровые технологии две базовые системы современной экономики. Развитие направления электромобилей и микрогридов в TESLA (и об этом говорилось в [39]) привело к созданию гигафабрики. Гигафабрика [40] — завод по производству литий-ионных аккумуляторов, принадлежащий компании Tesla в Индустриальном центре Тахо Рено, в Округе Стори, Невада, США. Инвестиции в производство составят около 5 млрд. долл. [40]. В январе 2017 года фабрика начала массовое производство [40]. Проектная стоимость завода составила 5 млрд. долларов США. По оценке губернатора штата Невада Брайана Сэндовал, экономическая выгода от строительства завода для штата Невада составит около 100 миллиардов долларов США в течение 20 лет [40].

В 2014 году Tesla и штат Невада заключили соглашение о предоставлении налоговых льгот для планируемого к постройке завода. Торжественное открытие завода состоялось 29 июля 2016. Массовое производство началось в январе 2017. Проектная мощность завода в 2020 году составит 35 Гигаватт-часов в год для производства ячеек и 50 Гигаватт-часов в год для сборки необходимых батарей и комплексов [40]. Для достижения данных целей на Гигафабрике будет работать 6,5 тысяч человек, а Tesla будет оснащать 500 000 автомобилей в год ее продукцией [40]. Tesla ожидает, что Гигафабрика 1 снизит издержки производства батарей-аккумуляторов для её электромобилей, промышленных и домашних аккумуляторных систем Powerwall на 30%. На заводе также будет развернуто производство аккумуляторов и силовой установки для электрогрузовика Tesla Semi. Таким образом, развитие энергетики для Hyperloop имеет очень солидную современную базу.



Рис. 4. XP-1 в трубной системе подготовленный для перемещения (источник -The New York Times)



Рис. 5. Часть вакуумного оборудования на полигоне Virgin Hyperloop One. Низкое давление в вакуумной трубе Hyperloop сводит к минимуму трение и сопротивление воздуха, значительно снижая необходимую мощность (источник -The New York Times).

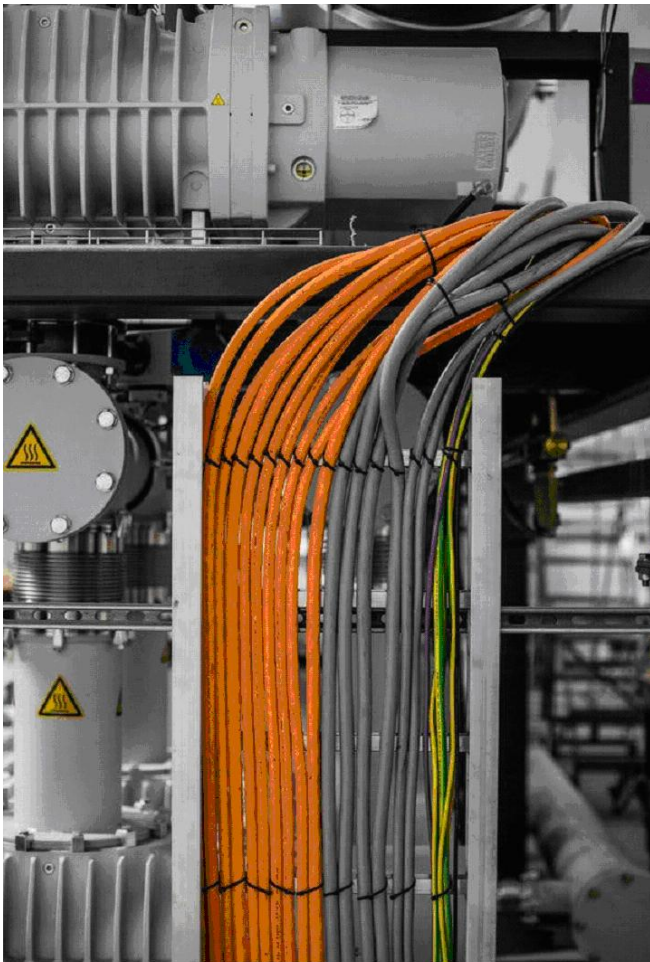


Рис. 6. Часть энергетической системы для работы трубной системы на полигоне Virgin Hyperloop One (источник -The New York Times)

В США, где пока отсутствуют ВСМ (в Калифорнии линия только строится) и MAGLEV, а потребность в скоростном и удобном общественном транспорте нарастает шансы Hyperloop растут, тем более, что как нам представляется, мы выше показали вполне серьёзную техническую базу для этого. Поэтому мы решили показать нашему читателю наиболее вероятные участки линий для Hyperloop в США, более подробно остановившись на одной.

На рисунке 7 показан предлагаемый маршрут Hyperloop в Миссури (Голубая лента), на рисунке 9 есть предложенный маршрут Hyperloop Техаса, на рисунке 8 можно увидеть предлагаемый маршрут Hyperloop на Среднем Западе. На последней истории мы предлагаем сосредоточиться, сделав несколько пояснений. В США конкретные территории и штаты обладают огромными финансовыми ресурсами и юридическими правами. Например, номерные знаки автомобилей у каждого штата свои, а ВВП Техаса, например, существенно больше Германии. Поэтому решения о строительстве транспортных систем принимаются и реализуются во многом на уровне штатов и если, к примеру, использование автомобиля без водителя в одном штате разрешено и давно используется, в другом штате это

запрещено.

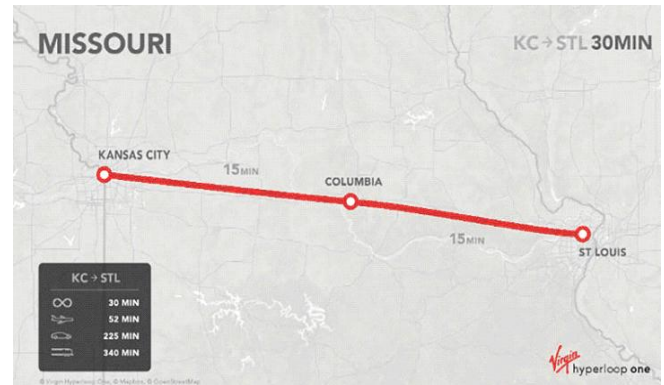


Рис. 7. Предлагаемый маршрут Hyperloop Миссури [20]

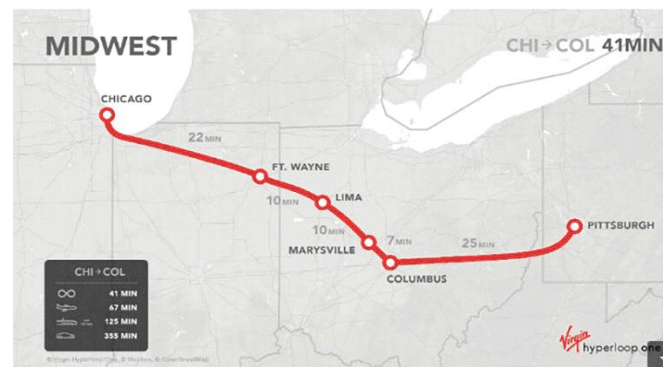


Рис. 8. Предлагаемый маршрут Hyperloop на Среднем Западе [20]

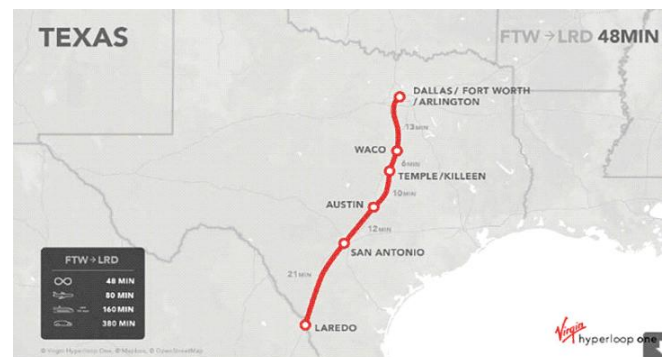


Рис. 9. Предложенный маршрут Hyperloop Техаса [20]

По сообщению [22], Региональная комиссия по планированию серединой часть Огайо (MORPC) опубликовала окончательный отчет своего технико-экономического обоснования проекта Hyperloop «Midwest Connect», в котором было установлено, что технология гипер-петли возможна вдоль коридора, соединяющего Колумбус с Чикаго (через Лиму, Огайо и Форт-Уэйн, Индиана) и Питтсбург (маршрут Hyperloop на Среднем Западе, рисунки 8 и 10).

Технико-экономическое обоснование, которое началось всерьез развиваться [22] в конце 2018 года, является частью Инициативы MORPC по ускоренной транспортировке (RSTI), которая направлена на улучшение и ускорение соединений с Чикаго и Питтсбургом. RSTI рассматривает варианты

транспортировки, которые не только улучшат пассажирские и грузовые перевозки на Среднем Западе, но и стимулируют экономический рост, создадут возможности для развития и создадут новые возможности для людей и предприятий в мегаполисе Среднего Запада.

«Мы продолжали продвигать работу по этому коридору с тех пор, как выиграли Virgin Hyperloop One Global Challenge для маршрута Midwest Connect, и проведение этого технико-экономического обоснования стало одним из первых, наших основных действий. Основной вывод заключается в том, что технология гиперциклов действительно возможна на этом маршруте при оптимальных скоростях более 500 миль в час», сообщил Директор по развитию транспорта и инфраструктуры MORPC Тея Юинг [22].

Дополнительные выводы из исследования включают в себя:

Маршрут

Технология требует прямого выравнивания. В то время как некоторые части маршрута могут быть построены в рамках существующих железнодорожных коридоров, маршрут также будет нуждаться в новом праве проезда для достижения оптимальных скоростей. Лима, Мерисвилл, Дублин и Колумб были определены как потенциальные станции в Огайо.

Необходимость

В настоящее время нет пассажирских железнодорожных сообщений, связывающих рынок Форт-Уэйн-Лима-Колумбус-Питтсбург. Колумб в настоящее время второй по величине район метро в Соединенных Штатах без пассажирских железнодорожных перевозок. Ожидается, что в Колумбии и Чикаго численность населения вырастет более чем на 20 процентов, а в Форт-Уэйне и Питтсбурге рост составит не менее 10 процентов. В Чикаго, Форт-Уэйне и Колумбусе будет наблюдаться рост занятости более чем на 15 процентов, а в Лиме и Питтсбурге - не менее 12 процентов.

Экономическая выгода

Через 30 лет маршрут с гиперциклом приведет к тому что:

9 миллиардов автомобильных пассажиров станут пассажирами Hyperloop

Образуется 4 миллиона тонн сокращенных выбросов CO₂ (более 126 миллионов долларов в виде экономии выбросов)

450 миллионов километров пройденных коммерческими грузовыми автомобилями будут устранены

Будет получено 300 миллиардов долларов США в виде общих экономических выгод (почти 19 миллиардов долларов США от прямых транспортных выгод)

Расходы

В настоящее время стоимость билета составляет 0,20 доллара за милю, что составляет примерно 60 долларов за билет из Колумбуса в Чикаго и 33 доллара за билет из Колумбуса в Питтсбург.

«MORPC начал представлять некоторые

первоначальные результаты общинам вдоль коридора прошлой осенью, и мы использовали обратную связь, чтобы обобщить различные исследования, основанные на данных, таким образом, чтобы они были всеобъемлющими и понятными. С этим заключительным отчетом мы можем продолжать двигаться вперед с основной целью Инициативы по ускоренной транспортировке, заключающейся в обеспечении доступных и более быстрых междугородних соединений с использованием технологий как Hyperloop гипер-петлевых, так и пассажирских железнодорожных перевозок» сообщила Менеджер стратегических проектов MORPC Дина Лопес [22].

Технико-экономическое обоснование гипер-петли было проведено AECOM от имени MORPC и его партнеров из Огайо, в число которых входят округ Юнион и города Лима, Кентон, Мерисвилл, Дублин и Колумбус. Сам отчет можно посмотреть по ссылке [25]. Из [25] мы взяли для иллюстрации рисунок 10, на котором показаны основные рынки в коридоре технико-экономического обоснования HYPERLOOP RSTI, рисунок 11, на котором представлен вариант маршрута 1 - Выравнивание в существующих железнодорожных коридорах для строительства HYPERLOOP, рисунок 12, на котором представлен вариант маршрута 2 - Возможный коридор для оптимальных скоростей HYPERLOOP.

Собственно между вариантами 1 и 2 и будет происходить дальнейшее определение окончательной трассы, но это уже этап проектных изысканий.

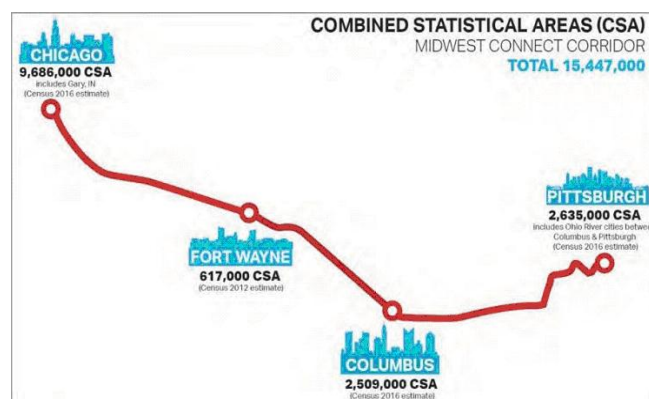


Рис. 10. Основные рынки в коридоре технико-экономического обоснования HYPERLOOP RSTI [25]



Рис 11. Вариант маршрута 1 - Выравнивание в существующих железнодорожных коридорах [25]



Рис. 12. Вариант маршрута 2 - Возможный коридор для оптимальных скоростей HYPERLOOP с гиперциклом [25].

Следующие шаги этого проекта включают: сотрудничество с заинтересованными сторонами для продвижения сегмента сертификационного коридора для технологии Virgin Hyperloop One в центральной части Огайо; создание консультативной группы по поездкам и экономическому спросу для улучшения и дальнейшего совершенствования анализов высокого уровня, разработанных в рамках технико-экономического обоснования; и работа с государственными и федеральными должностными лицами по транспорту в целях разработки нормативно-правовой базы для технологии Hyperloop.

Несомненным большим заданием для Hyperloop в США является его включение в стратегический план на 2020–2025 гг. Объединенного офиса программ Интеллектуальных транспортных систем [27]. Вот что в нем сказано:

«Новые и расширяющие технологии - это новая программная область, сфокусированная на выявлении и оценке следующего поколения технологий. Формализуя эти действия в программу, ITS JPO и модальные партнеры имеют механизм для того, чтобы определить возможности и риски для внедрения перспективных инновационных или прорывных технологий в транспортную сферу.

Деятельность включает в себя:

- Определение и оценку потенциала новых технологий (например, искусственного интеллекта, пассажирских беспилотников или Hyperloop) для принятия или адаптации их к транспортной системе

- Изучение и развитие институциональных моделей и лучших практик, которые поддерживают гибкость системы, чтобы государство и местные агентства смогли внедрять и использовать технологии следующего поколения

- Разработка дорожных карт для отслеживания быстро развивающихся инноваций, таких как новые коммуникационные технологии (например, 5G)» [27].

VI. РАЗВИТИЕ HYPERLOOP В ЕВРОПЕ

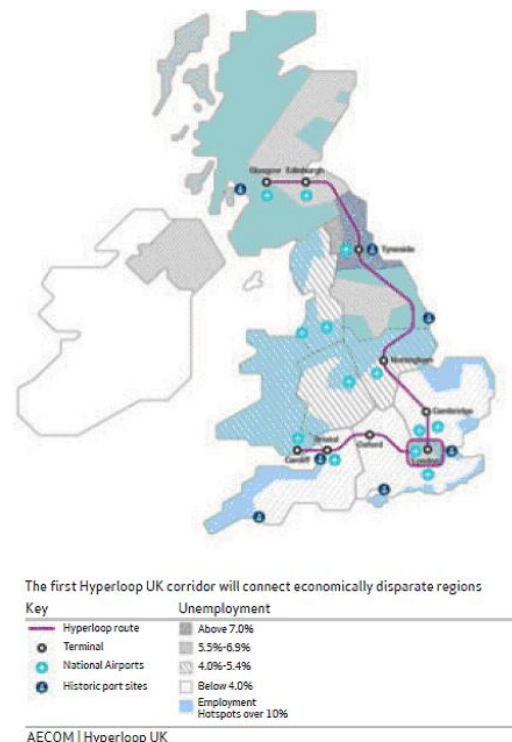
Развитие конкретных проектов и обоснований Hyperloop наиболее интенсивно на первых этапах по нашему мнению проходило в Великобритании. Так он

достаточно быстро получил принципиальную положительную на уровне правительства [28] и железнодорожного сообщества [29]. В последней даже рассматривался важный для этой страны вопрос подводного Hyperloop (рисунок 13).



Рис. 13. Концепция подводного Hyperloop One Track 7 [29].

В Великобритании были отработаны очень интересные маршруты и очень солидными компаниями (AECOM она уже упоминалась выше как исполнитель работ для Hyperloop на Среднем Западе США). Очень перспективный маршрут «Уэльс в Шотландию» обрисованный в общих чертах был сделан AECOM и в их представлении Hyperloop One Global Challenge подчеркивает ряд преимуществ в соединении аэропортов и морских портов по маршруту. Это также обеспечивает соединение между Оксфордом и Кембрижем (через Лондон) в рамках маршрута (рисунок 14).



Extract from AECOM submission to Hyperloop One Global Challenge

Рис. 14. Маршрут Hyperloop «Уэльс в Шотландию» (источник - Hyperloop One Global Challenge).

Исследования по возможностям Hyperloop даже были опубликованы в труде инновационной организации по содействию внедрений - Transport Systems Catapult в 2018 году в виде очень подробной работы [30], и, все-таки, как и в Калифорнии, было принято решение в пользу ВСМ – HS2. Тем не менее, многие были разочарованы этим решением и считают его большой технологической ошибкой нынешнего правительства [31].

Гораздо более успешным оказалось развитие испанской компании работающей над проектами Hyperloop - Zeleros . Она сумела выиграть относительно небольшой (7 млн евро) но обще европейский тендер и стать лидером проекта названного Zeleros Hyperloop (<https://cordis.europa.eu/project/id/877528> и <https://zeleros.com/2020/06/01/spains-zeleros-raises-7me-in-financing-to-lead-the-development-of-hyperloop-in-europe/>). Срок исполнения проекта был коротким (с 1 августа 2019 года до 31 января 2020 года), и позволил Zeleros представить компании, занимающиеся проектами Hyperloop европейским властям и транспортным организациям в большом роад-шоу 2019 года. Приведем два рисунка из презентации “Welcome to the future of transportation Juan Vicén Co Founder and CMO Zeleros 2019”.

На рисунке 15 показана экосистема компаний по теме Hyperloop, занимающаяся его продвижением, а на рисунке 16 приводится дорожная карта преобразований, ведущих к совместимым решениям Hyperloop в ЕС с 2019 по 2025 год.



Рис. 15. Экосистема компаний по теме Hyperloop, занимающаяся его продвижением (источник - Juan Vicén Zeleros 2019).

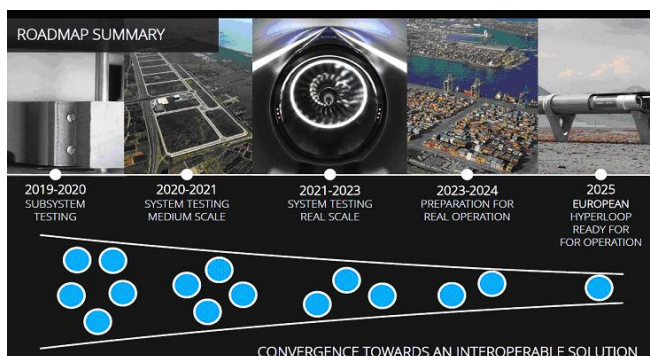


Рис. 16. Дорожная карта преобразований, ведущих к совместимым решениям Hyperloop в ЕС (источник -

Juan Vicén Zeleros 2019)

Возвращаясь к проекту Zeleros Hyperloop, стоит сказать, что многое в нем базируется на уже подготовленных решениях Hyperloop компании Zeleros (<https://zeleros.com/zeleros-the-technology/>) для:

Небоскребов (Сверхбыстрый лифт для пассажиров и грузов для повышения эффективности передвижения в высотных зданиях);

Электрического экспедитора (Zeleros представляет свою систему, основанную на линейных двигателях, с целью экономически эффективного обезуглероживания и увеличения пропускной способности контейнерных перевозок в морских портах и аэропортах);

Других приложениях (Технологии Hyperloop могут быть применены для решения множества ограничений мобильности в городах и логистических центрах), а также решениях партнеров был подготовлен отчет для Европейской комиссии [32]. В этом отчете сказано [32]:

«Работы, выполненные с начала проекта до конца периода, охватываемого отчетом, и основные результаты, достигнутые к настоящему времени

В ходе проекта мы выполнили несколько задач, чтобы обеспечить техническую и коммерческую жизнеспособность технологии Zeleros, ориентируясь на линейный двигатель с коммутируемым сопротивлением (SRLM). Первой задачей было технико-экономическое обоснование системы, которое позволило нам обеспечить реальность системы посредством контактов с потенциальными клиентами, поставщиками и проведения пилотных испытаний для улучшения и исправления ошибок, которые могут возникнуть при внедрении системы. Вторая задача состояла в анализе рынка путем проведения интервью с соответствующими игроками рынка, присутствующими во всей целевой цепочке создания стоимости. Цель состояла в том, чтобы выяснить потребности этих участников, а также их впечатления о секторе, чтобы приспособить систему к потребностям рынка. Все эти анализы были сведены в бизнес-план, который содержит все необходимые шаги для успешного ведения бизнеса.

Кроме того, во время фазы 2 продукт будет оптимизирован для получения точного определения возможных целевых сегментов Zeleros SRLM, расстояний, на которых эффективен Zeleros SRLM, где происходит потеря эффективности, проверки и разработки системы. Zeleros, а также количественно оценить снижение затрат на электроэнергию и окружающую среду с помощью Zeleros SRLM. В рамках этого процесса будет проведен более конкретный анализ IRP и правил, адаптирующих выводы к системе. Другая основная цель - адаптировать систему к конкретным потребностям рынка путем проведения пилотных испытаний в реальных условиях. Целью является создание различных версий Zeleros SRLM, адаптированных к потребностям каждого пункта назначения, где он применяется. Конечная цель состоит в том, чтобы предложить построить и поддерживать систему через консорциум строительных, ремонтных и

инжиниринговых компаний, где Zeleros будет позиционироваться как технологический партнер и получит часть средств, предложенных в тендере, и где он примет на себя эквивалентный процент затрат на реализацию путем разработки масштабируемой и воспроизводимой модели и плана доходов и его распространения путем продвижения проекта и его выводов в течение периода субсидирования с привлечением потенциальных покупателей и заинтересованных сторон.

Прогресс за пределы уровня техники и ожидаемое потенциальное воздействие (включая социально-экономическое влияние и более широкие социальные последствия проекта до настоящего времени)

В последнее время общество становится все более требовательным к транспортным средствам, которые оно использует, и становится более осведомленным об окружающей среде. Они ищут средства, более уважающие окружающую среду, долговечные и с меньшим потреблением без снижения производительности. В настоящее время на рынке существует несколько внутрипортовых транспортных систем, но они имеют некоторые недостатки с точки зрения потребления, образования пробок и загрязнения.

Тем не менее, благодаря решению Zeleros, которое имеет относительно низкую стоимость внедрения, ожидается, что сектор грузовых перевозок на короткие расстояния будет развиваться во всем мире. Zeleros 'SRLM имеет эффективную и действенную систему перемещения контейнеров, которая не только сокращает время на управление, но также уменьшает количество выбросов парниковых газов, потребление энергии и количество пробок, возникающих вокруг коммерческих портов.

Таким образом, этот проект представляет собой большой шаг вперед, поскольку он позволяет сделать контейнерный трафик более эффективным, минимизируя его влияние на трафик и окружающую среду, поскольку он является продуктом, который легко внедрить, а также обладает большой адаптивностью и совместимостью с другими подсистемами, используемыми в портах для TEUS трафик».

Кроме того, по результатам этого проекта ЕС был выпущен пресс-релиз [33]. Мы достаточно подробно остановились на этом проекте ЕС Zeleros Hyperloop потому, что он близок по идеологии к проекту в ОАЭ (речь о нем далее), суть которого, как нам кажется, показана на рисунке 14. Этот рисунок взят из работы города следующего поколения японской компании BayCurrent Consulting вышедшей в октябре 2018 года [34]. На рисунке 17 видно, что решения Hyperloop предлагается использовать как для скоростного горизонтального так вертикального перемещения грузов и людей в единой системе Hyperloop.

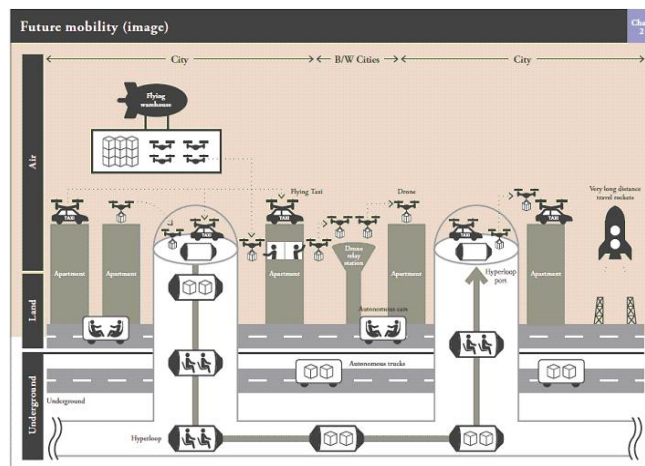


Рис. 17. Будущее мобильности в городах [34]

VII. СТАНДАРТИЗАЦИЯ

Поскольку концепция Hyperloop представляет собой гибрид между воздушным и железнодорожным транспортом, она создает значительные проблемы с регулированием. В 2017 году Научный консультативный совет Министерства транспорта США опубликовал заявление о том, что «системам Hyperloop, вероятно, потребуется новая нормативно-правовая база и соответствующие стандарты безопасности». Различные представители отрасли создали партнерства, в том числе правительственные министерства некоторых стран, чтобы заложить основу для возможной нормативной базы для Hyperloop. Например, TransPod, Hardt Hyperloop, Zeleros Hyperloop и Hyper Poland сформировали международное партнерство для «определения, создания и стандартизации методологии и структуры для регулирования» систем путешествий Hyperloop.

Европейский союз также создал свою Европейскую программу Hyperloop, которая началась в декабре 2019 года. Министерство транспорта США (DOT) недавно объявило о создании Совета нетрадиционных и развивающихся транспортных технологий (о нем было сказано выше), который будет выявлять и устранять пробелы в юрисдикции и нормативах, что может помешать разработке и внедрению новых технологий, таких как Hyperloop.

Поэтому в США Virgin Hyperloop One (VHO), высокоскоростная транспортная компания, основанная в 2014 году, объявила о своем следующем этапе развития: общенациональном поиске и оценке первого официального места для сертификации Hyperloop [35]. Прошлым летом VHO начал национальный показ решений на местах, чтобы начать диалог с общественностью о будущем общественного транспорта в США и за его пределами.

Письма были разосланы каждому губернатору в стране, чтобы начать официальный процесс запроса предложений (RFP) для Центра сертификации Hyperloop. В центре будет размещен первый пассажирский продукт HyperLoop в США, и будут проведены ключевые тесты безопасности, необходимые для сертификации. VHO получил сильный

двухпартийный интерес и поддержку от городов по всей стране. 17 штатов представили официальные ответы на запрос предложений (на январь 2020 года [35]), в том числе Делавэр, Джорджия, Миссури, Нью-Мексико, Северная Каролина, Северная Дакота, Огайо, Южная Дакота, Теннесси, Техас, Вашингтон и Западная Вирджиния. Кроме того, несколько штатов также изучают маршруты Hyperloop, соединяющие несколько городов в своих регионах.

Таким образом шумиха вокруг транспортной системы «hyperloop», первоначально возникшей из белой книги Илона Маска в 2013 году, как нам кажется, заканчивается. Стоит напомнить, что венчурный капиталист Силиконовой долины Шервин Пишевар, который возглавлял инвестиции в Uber, Warby Parker и AirBnB, ответил на звонок Э.Маска в 2013 году и включил Hyperloop Technologies в списки финансируемых им компаний в 2014 году. На сегодняшний день VNO привлек почти 400 миллионов долларов от инвесторов, включая DP World, Sherpa Capital, фонд Абу-Даби, Capital Group, GE Ventures, и теперь одноименная Virgin Group отвечает за разработку и внедрение этой высокоскоростной транспортной системы в США [35].

Европейские страны также договорились установить общие стандарты для систем Hyperloop в начале 2020 года [36], ориентируясь в первую очередь на предполагаемую схему расширения решениями Hyperloop общеевропейской успешной мультимодальной сети TEN-T (рисунок 18)

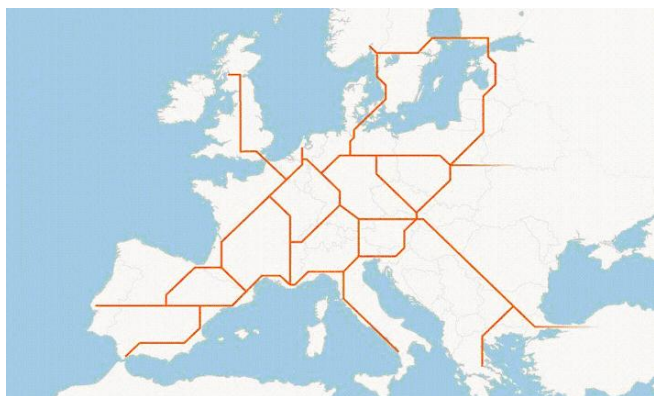


Рис. 18. Предполагаемая схема расширения решениями Hyperloop сети TEN-T [36]

Также они договорились создать совместный технический комитет (JTC) под названием JTC 20. В составе Европейского комитета по стандартизации (CEN) и Европейского комитета для электротехнической стандартизации (CENELEC). Цель этого технического комитета состоит в том, чтобы определить, установить и стандартизировать методологию и структуру для регулирования систем передвижения Hyperloop и обеспечения совместимости и высоких стандартов безопасности по всей Европе.

Консорциум европейских и канадских компаний, занимающихся Hyperloop, ответственных за продвижение инициативы по международной стандартизации, включает Hardt Hyperloop (из

Нидерландов), Hyper Poland (из Польши), TransPod (из Канады, с офисами в Италии и Франции) и Zeleros Hyperloop (из Испании) является участником стандартизации.

Поскольку индустрия Hyperloop продолжает расти с ростом интереса и появлением на рынке большего количества игроков, как сказано в [36], консорциум ожидает, что в конечном итоге будет много разных подходов к стандартам и принципам работы. Потенциальное влияние, которое это может оказать на функциональную совместимость инфраструктуры, подвижного состава, сигнализации и других подсистем, является существенным - становится трудным и дорогостоящим перевозить пассажиров и грузы из одной страны в другую из-за зависимости от конкретной и уникальной принятой системы Hyperloop в каждом месте. Разрабатывая общие стандарты, спецификации и подходы, JTC 20 поможет смягчить потенциальные проблемы для реализации на всем континенте [36].

Предложение о создании технического комитета было совместным усилием национальных организаций по стандартизации Испании (UNE) и Нидерландов (NEN) [36]. JTC 20 будет состоять из рабочих групп, специализирующихся на различных компонентах гиперпетлевых систем Hyperloop, включая системы транспортных средств, инфраструктуру и компоненты труб, общую инфраструктуру и протоколы связи. Консорциум компаний Hyperloop, ответственных за инициирование создания JTC 20, наряду с членами различных национальных организаций по стандартизации и экспертами из различных отраслей, примет участие в рабочих группах для предоставления технических и географических знаний.

Одновременно, сеть исследовательских центров Hyperloop уже находится на стадии планирования. Она должна начать работу в ближайшие несколько лет во Франции, Польше, Испании и Нидерландах [36]. Они будут служить исследовательскими площадками для тестирования и валидации технологий и стандартов, появившихся в JTC 20. После успешной валидации рекомендации будут представлены в законодательном предложении, которое будет представлено в Европейский парламент и Совет Европейского союза.

Кроме того, Европейский Союз будет регулировать технологию Hyperloop для высокоскоростных наземных путешествий ОАЭ [37]. Регуляторы Европейского Союза оценивают документы по безопасности для высокоскоростной транспортной системы, производимой Hyperloop Transportation Technologies (HTT). Предоставленные HTT правила безопасности для технологии Hyperloop, которые могут перевозить пассажиров со скоростью звука, будут регулироваться Европейской комиссией после аналогичных шагов в ОАЭ.

VIII. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Россия, как и все страны мира, нуждается в инновациях на транспорте. Для читателя, возможно, будет интересен материал «Hyperloop Москва-Санкт-

Петербургу: сколько может стоить проект для инвестора и пассажира» [38], в котором была сделана оценка проекта Hyperloop, правда, не транспортной организацией и без привлечения компаний Hyperloop, что снижает ценность этого документа. Авторы не ставили своей целью пропагандировать решения Hyperloop, а попробовали изложить состояние и будущие задачи развития Hyperloop в США и ЕС, опираясь на документы и сообщения. Ключевым и переломным моментом в судьбе пятого вида транспорта авторы считают начавшуюся стандартизацию и официальные испытания систем Hyperloop практически одновременно в США и ЕС. Если они будут успешными, то можно гарантировать очень быстрое появление официальных международных стандартов. Стоит также отметить солидную техническую и научную базу компаний Э.Маска, ставшую в последнее время также зоной исследований [41]. Все это, как мы полагаем, стоит учитывать в развитии транспортных систем в России, опираясь на имеющиеся заделы и международное сотрудничество.

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] The future of tunneling <https://www.driver-group.com/middle-east/news/the-future-of-tunnelling>
- [2] Куприяновский В. П. и др. ВИМ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ МИРА-РАЗВИТИЕ, ПРИМЕРЫ, СТАНДАРТЫ //International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – Т. 8. – №. 5.
- [3] Special Report A European high-speed rail network: not a reality but an ineffective patchwork. EUROPEAN COURT OF AUDITORS. © European Union, 2018 <https://www.eca.europa.eu/en/Pages/DocItem.aspx?did=46398>
- [4] Maglev and Hyperloop – 5 years on Published by Marlen Schönig | Jun 11, 2019 <https://skedgo.com/maglev-and-hyperloop-5-years-on/>
- [5] Зайцев А.А. Транспорт на магнитном подвесе / А.А. Зайцев, Г.Н. Талашкин, Я.В. Соколова; под ред. А.А. Зайцева. — СПб.: Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2010. — 160 с.
- [6] А. А. Зайцев Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I МАГНИТОЛЕВИТАЦИОННЫЙ ТРАНСПОРТ: ОТВЕТ НА ВЫЗОВЫ ВРЕМЕНИ <https://cyberleninka.ru/article/n/magnitolevitatsionnyy-transport-otvet-na-vyzovy-vremeni>
- [7] Hyperloop competition https://en.wikipedia.org/wiki/Hyperloop_pod_competition
- [8] Magrail: The Brilliant Mix of Maglev and Traditional Rail 24.03.2020 <https://www.maglev.net/magrail-mix-of-maglev-and-traditional-rail>
- [9] Fangzhou Shao Design analysis and optimization of the Hyperloop shell and chassis, Master of Science Thesis TRITA-ITM-EX 2019:564, KTH Industrial Engineering and Management Machine Design SE-100 44 STOCKHOLM
- [10] JACOB COVELL HYPERLOOP TECHNOLOGY: ECONOMIC ANALYSIS OF A TRANSPORTATION REVOLUTION THE PENNSYLVANIA STATE UNIVERSITY SCHREYER HONORS COLLEGE DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING SPRING 2017 A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for a baccalaureate degree in Industrial Engineering with honors in Industrial Engineering
- [11] H.P. Koerkamp The Role of Pilot- and Demonstration Projects in Accelerating Hyperloop A MULTI-LEVEL PERSPECTIVE TOWARDS LARGE-SCALE TECHNOLOGICAL TRANSITIONS MAGLEV AS A CASE STUDY Thesis Document by H.P. Koerkamp in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Management of Technology at the Delft University of Technology, to be defended in public on August 29th, 2019
- [12] Kalrav Shah Hyperloop Network Design: The Swiss Case in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Civil Engineering (track transport & planning) at the Delft University of Technology, to be defended publicly on Friday, November 29, 2019
- [13] FREDRIK MAGNUSSON ,FREDRIK WIDEGREN Hyperloop in Sweden Evaluating Hyperloops Viability in the Swedish, Context Master of Science Thesis TRITA-ITM-EX 2018:381 KTH ROYAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ,SCHOOL OF INDUSTRIAL ENGINEERING AND MANAGEMENT 2018
- [14] CU Hyperloop 2019 Technical Report ,Released July 29, 2019 Documentation updated as of January 11, 2019 <http://cuhyperloop.com/docs/2019TechnicalReport.pdf>
- [15] Tum <https://www.tum.de/nc/en/about-tum/news/press-releases/details/35591/>
- [16] Hyperloop Alpha https://www.tesla.com/sites/default/files/blog_images/hyperloop-alpha.pdf
- [17] Hyperloop: The Future of Intercity Transportation? loprespub / June 6, 2019 <https://hillnotes.ca/2019/06/06/hyperloop-the-future-of-intercity-transportation/>
- [18] Hyperloop Commercial Feasibility Analysis: High Level Overview Catherine L. Taylor, David J. Hyde, Lawrence C. Barr July 2016 DOT-VNTSC-NASA-16-01 Prepared for: NASA Glenn Research Center Cleveland, OH
- [19] Boring Company https://en.wikipedia.org/wiki/The_Boring_Company
- [20] Hyperloop projects <https://www.tunneltalk.com/USA-04July2019-Interest-growing-for-Hyperloop-projects.php>
- [21] VIRGIN HYPERLOOP ONE ZOOMS INTO CAPITOL HILL TO PRESENT PIONEERING TRANSIT TECHNOLOGY, GOVERNMENT PARTNERSHIPS & VIABLE ROUTES ACROSS THE U.S. <https://www.globenewswire.com/news-release/2019/06/26/1874417/0/en/VIRGIN-HYPERLOOP-ONE-ZOOMS-INTO-CAPITOL-HILL-TO-PRESENT-PIONEERING-TRANSIT-TECHNOLOGY-GOVERNMENT-PARTNERSHIPS-VIABLE-ROUTES-ACROSS-THE-U-S.html>
- [22] MORPC Releases Findings of Hyperloop Feasibility Study TRANSPORTATION May 20, 2020 <https://www.morpc.org/news/morpc-releases-findings-of-hyperloop-feasibility-study/>
- [23] Robotaxis <https://guidehouseinsights.com/news-and-views/a-challenging-post-covid-19-future-for-robotaxis>
- [24] Route optimization <https://hyperloop-one.com/autodesk-and-virgin-hyperloop-one-announce-joint-effort-explore-advanced-route-optimization-transportation-design-and-construction-technology>
- [25] 2020 HYPERLOOP FEASIBILITY STUDY MORPC, MAY 2020 <https://morpc.org/wordpress/wp-content/uploads/2020/05/HYPERLOOP-FEASIBILITY-STUDY.pdf>
- [26] OCTOBER 7, 2019 Three Advancements for a Seamless Future in VR. Plus, VIATechnik's collaboration with Virgin Hyperloop One <https://www.thevrra.com/blog2/2019/10/7/three-advancements-for-a-seamless-future-in-virtual-reality-aec-viatechnik>
- [27] Intelligent Transportation Systems Joint Program Office Strategic Plan 2020–2025 WWW.ITS.DOT.GOV/STRATPLAN2020 PUBLICATION DATE: May 6, 2020 PUBLICATION NUMBER: FHWA-JPO-18-746 Produced by U. S. Department of Transportation's John A. Volpe National Transportation Systems Center, Intelligent Transportation Systems Joint Program Office, and Office of the Assistant Secretary for Research and Technology
- [28] Science Advisory Council Position Statement Hyperloop, Moving Britain Ahead © Crown copyright 2017
- [29] Hyperloop: concept, technologies and business model (S260) KNOWLEDGE ANALYSIS Version: 1 February 2017 RSSB
- [30] HYPERLOOP – OPPORTUNITY FOR UK SUPPLY CHAIN FINAL REPORT September 2018 Transport Systems Catapult
- [31] Is Britain missing out by opting for HS2 over hyperloop? <https://www.telegraph.co.uk/technology/2020/02/12/britain-missing-opting-hs2-hyperloop/>
- [32] Periodic Reporting for period 1 - Zeleros Hyperloop <https://cordis.europa.eu/project/id/877528/reporting>
- [33] Spain's Zeleros raises 7M€ in financing to lead the development of hyperloop in Europe <https://zeleros.com/2020/06/01/spains-zeleros-raises-7me-in-financing-to-lead-the-development-of-hyperloop-in-europe/>
- [34] Next Generation Cities BayCurrent Consulting October 2018 https://www.baycurrent.co.jp/en/our-insights/pdf/Next_Generation_Cities.pdf

- [35] 17 states submit proposals to host Hyperloop certification center 01/15/20 <http://www.msnbc.com/morning-joe/17-states-submit-proposals-host-hyperloop-certification-center>
- [36] European Countries Agree to Establish Common Standards for Hyperloop Systems 11-2-2020 <https://hardt.global/sub/press/european-standards-hyperloop/>
- [37] European Union to regulate Hyperloop technology Guideline documents will form regulatory framework for high speed land travel in the UAE <https://www.thenational.ae/uae/transport/european-union-to-regulate-hyperloop-technology-1.866327>
- [38] Hyperloop Москва-Санкт-Петербург: сколько может стоить проект для инвестора и пассажира http://ipem.ru/files/files/research/20190705_ekspertnoe_mnenie_hyperloop.pdf
- [39] Куприяновский В. П. и др. Microgrids-energy, economy, ecology and IT-services in Smart Cities //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – №. 4. – С. 10-19.
- [40] Гигафабрика https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D1%84%D0%B0%D0%B1%D1%80%D0%B8%D0%BA%D0%B0_1
- [41] From Energy To Transport To Healthcare, Here Are 8 Industries Being Disrupted By Elon Musk And His Companies <https://www.cbinsights.com/research/report/elon-musk-companies-disruption/>.

Hyperloop - current status and future challenges

Vasily Kupriyanovsky, Alexander Klimov, Vyacheslav Alenkov, Oleg Pokusaev, Andrey Dobrynin

Abstract — Hyperloop was first proposed in 2013 by American entrepreneur Elon Musk, which outlines a pipe-based system in which containers transport passengers or cargo at high speed in low friction conditions.

Many organizations are currently working on the development and commercialization of this technology. The expected end result is a high-speed transport system, which, compared to conventional airplanes, trains, or cars, is very energy-efficient due to the lack of air and rolling resistance. The implementation of the Hyperloop concept can revolutionize intercity transportation, since it can be faster than aviation, it can be cheaper to build than high-speed railways, it will consume little energy, it should be accessible to the public and not dependent on the weather. With the development of research and feasibility studies, as well as the creation of an increasing number of prototypes and test tracks, the reasonable question arises - is this fifth mode of transport the future of intercity travel, or will it remain in the field of science fiction?

Keywords — transport, Hyperloop.

REFERENCES

- [1] The future of tunneling <https://www.driver-group.com/middle-east/news/the-future-of-tunnelling>
- [2] Kupriyanovskij V. P. i dr. BIM NA ZHELEZNYH DOROGAH MIRA-RAZVITIE, PRIMERY, STANDARTY //International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – T. 8. – #. 5.
- [3] Special Report A European high-speed rail network: not a reality but an ineffective patchwork. EUROPEAN COURT OF AUDITORS. © European Union, 2018 <https://www.eca.europa.eu/en/Pages/DocItem.aspx?did=46398>
- [4] Maglev and Hyperloop – 5 years on Published by Marlen Schönig | Jun 11, 2019 <https://skedgo.com/maglev-and-hyperloop-5-years-on/>
- [5] Zajcev A.A. Transport na magnitnom podvесе / A.A. Zajcev, G.N. Talashkin, Ja.V. Sokolova; pod red. A.A. Zajceva. — SPb.: Peterburgskij gos. un-t putej soobshhenija, 2010. — 160 s.
- [6] A.A. Zajcev Peterburgskij gosudarstvennyj universitet putej soobshhenija Imperatora Aleksandra I MAGNITOLEVITACIONNYJ TRANSPORT: OTVET NA VYZOVY <https://cyberleninka.ru/article/n/magnitolevitatsionnyy-transport-otvet-na-vyzovy-vremeni>
- [7] Hyperloop competition https://en.wikipedia.org/wiki/Hyperloop_pod_competition
- [8] Magrail: The Brilliant Mix of Maglev and Traditional Rail 24.03.2020 <https://www.maglev.net/magrail-mix-of-maglev-and-traditional-rail>
- [9] Fangzhou Shao Design analysis and optimization of the Hyperloop shell and chassis, Master of Science Thesis TRITA-ITM-EX 2019:564, KTH Industrial Engineering and Management Machine Design SE-100 44 STOCKHOLM
- [10] JACOB COVELL HYPERLOOP TECHNOLOGY: ECONOMIC ANALYSIS OF A TRANSPORTATION REVOLUTION THE PENNSYLVANIA STATE UNIVERSITY SCHREYER HONORS COLLEGE DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING SPRING 2017 A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for a baccalaureate degree in Industrial Engineering with honors in Industrial Engineering
- [11] H.P. Koerkamp The Role of Pilot- and Demonstration Projects in Accelerating Hyperloop A MULTI-LEVEL PERSPECTIVE TOWARDS LARGE-SCALE TECHNOLOGICAL TRANSITIONS MAGLEV AS A CASE STUDY Thesis Document by H.P. Koerkamp in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Management of Technology at the Delft University of Technology, to be defended in public on August 29th, 2019
- [12] Kalrav Shah Hyperloop Network Design: The Swiss Case in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Civil Engineering (track transport & planning) at the Delft University of Technology, to be defended publicly on Friday, November 29, 2019
- [13] FREDRIK MAGNUSSON, FREDRIK WIDEGREN Hyperloop in Sweden Evaluating Hyperloops Viability in the Swedish, Context Master of Science Thesis TRITA-ITM-EX 2018:381 KTH ROYAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY, SCHOOL OF INDUSTRIAL ENGINEERING AND MANAGEMENT 2018
- [14] CU Hyperloop 2019 Technical Report, Released July 29, 2019 Documentation updated as of January 11, 2019 <http://cuhyperloop.com/docs/2019TechnicalReport.pdf>
- [15] Tum <https://www.tum.de/nc/en/about-tum/news/press-releases/details/35591/>
- [16] Hyperloop Alpha https://www.tesla.com/sites/default/files/blog_images/hyperloop-alpha.pdf
- [17] Hyperloop: The Future of Intercity Transportation? loprespub / June 6, 2019 <https://hillnotes.ca/2019/06/06/hyperloop-the-future-of-intercity-transportation/>
- [18] Hyperloop Commercial Feasibility Analysis: High Level Overview Catherine L. Taylor, David J. Hyde, Lawrence C. Barr July 2016 DOT-VNTSC-NASA-16-01 Prepared for: NASA Glenn Research Center Cleveland, OH
- [19] Boring Company https://en.wikipedia.org/wiki/The_Boring_Company
- [20] Hyperloop projects <https://www.tunneltalk.com/USA-04July2019-Interest-growing-for-Hyperloop-projects.php>
- [21] VIRGIN HYPERLOOP ONE ZOOMS INTO CAPITOL HILL TO PRESENT PIONEERING TRANSIT TECHNOLOGY, GOVERNMENT PARTNERSHIPS & VIABLE ROUTES ACROSS THE U.S. <https://www.globenewswire.com/news-release/2019/06/26/1874417/0/en/VIRGIN-HYPERLOOP-ONE-ZOOMS-INTO-CAPITOL-HILL-TO-PRESENT-PIONEERING-TRANSIT-TECHNOLOGY-GOVERNMENT-PARTNERSHIPS-VIABLE-ROUTES-ACROSS-THE-U-S.html>
- [22] MORPC Releases Findings of Hyperloop Feasibility Study TRANSPORTATION May 20, 2020 <https://www.morpc.org/news/morpc-releases-findings-of-hyperloop-feasibility-study/>
- [23] Robotaxis <https://guidehouseinsights.com/news-and-views/a-challenging-post-covid-19-future-for-robotaxis>
- [24] Route optimization <https://hyperloop-one.com/autodesk-and-virgin-hyperloop-one-announce-joint-effort-explore-advanced->

route-optimization-transportation-design-and-construction-technology

[25] 2020 HYPERLOOP FEASIBILITY STUDY MORPC, MAY 2020 <https://morpc.org/wordpress/wp-content/uploads/2020/05/HYPERLOOP-FEASIBILITY-STUDY.pdf>

[26] OCTOBER 7, 2019 Three Advancements for a Seamless Future in VR. Plus, VIA Technik's collaboration with Virgin Hyperloop One <https://www.thevrara.com/blog2/2019/10/7/three-advancements-for-a-seamless-future-in-virtual-reality-aec-viatechnik>

[27] Intelligent Transportation Systems Joint Program Office Strategic Plan 2020–2025 WWW.ITS.DOT.GOV/STRATPLAN2020 PUBLICATION DATE: May 6, 2020 PUBLICATION NUMBER: FHWA-JPO-18-746 Produced by U. S. Department of Transportation's John A. Volpe National Transportation Systems Center, Intelligent Transportation Systems Joint Program Office, and Office of the Assistant Secretary for Research and Technology

[28] Science Advisory Council Position Statement Hyperloop, Moving Britain Ahead © Crown copyright 2017

[29] Hyperloop: concept, technologies and business model (S260) KNOWLEDGE ANALYSIS Version: 1 February 2017 RSSB

[30] HYPERLOOP – OPPORTUNITY FOR UK SUPPLY CHAIN FINAL REPORT September 2018 Transport Systems Catapult

[31] Is Britain missing out by opting for HS2 over hyperloop? <https://www.telegraph.co.uk/technology/2020/02/12/britain-missing-opting-hs2-hyperloop/>

[32] Periodic Reporting for period 1 - Zeleros Hyperloop <https://cordis.europa.eu/project/id/877528/reporting>

[33] Spain's Zeleros raises 7M€ in financing to lead the development of hyperloop in Europe <https://zeleros.com/2020/06/01/spains-zeleros-raises-7me-in-financing-to-lead-the-development-of-hyperloop-in-europe/>

[34] Next Generation Cities BayCurrent Consulting October 2018 https://www.baycurrent.co.jp/en/our-insights/pdf/Next_Generation_Cities.pdf

[35] 17 states submit proposals to host Hyperloop certification center 01/15/20 <http://www.msnbc.com/morning-joe/17-states-submit-proposals-host-hyperloop-certification-center>

[36] European Countries Agree to Establish Common Standards for Hyperloop Systems 11-2-2020 <https://hardt.global/sub/press/european-standards-hyperloop/>

[37] European Union to regulate Hyperloop technology Guideline documents will form regulatory framework for high speed land travel in the UAE <https://www.thenational.ae/uae/transport/european-union-to-regulate-hyperloop-technology-1.866327>

[38] Hyperloop Москва-Санкт-Петербург: сколько может стоить проект для инвестора и пассажира http://ipem.ru/files/files/research/20190705_ekspertnoe_mnenie_hyperloop.pdf

[39] Kuprijanovskij V. P. i dr. Microgrids-energy, economy, ecology and IT-services in Smart Cities //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – #. 4. – S. 10-19.

[40] Gigafabrika https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D1%84%D0%B0%D0%B1%D1%80%D0%B8%D0%BA%D0%B0_1

[41] From Energy To Transport To Healthcare, Here Are 8 Industries Being Disrupted By Elon Musk And His Companies <https://www.cbinsights.com/research/report/elon-musk-companies-disruption/>.