

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ СТРУКТУР ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ HYPERLOOP

Дудников Е.Е.

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,
Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная д.65
e_dudnik@ipu.run,

Аннотация: Дается краткий анализ работ в области технологии Hyperloop, проводившихся в 2017-2018 гг. Показано, что эта область успешно развивается. Рассмотрены вопросы построения структур транспортных систем, позволяющих сохранить их высокие технические характеристики. В частности, рассмотрены структуры с промежуточными остановками и разветвлениями.

Ключевые слова: технология Hyperloop, развитие технологии Hyperloop в 2017-2018 гг, структуры транспортных систем

Введение

Начало работ по развитию транспортных систем Hyperloop связывают с появлением в августе 2013 г доклада известного американского инженера, изобретателя и бизнесмена Илона Маска, посвященного описанию проекта новой сверхскоростной трубопроводной транспортной магистрали между двумя крупными американскими городами Лос-Анджелесом и Сан-Франциско [1]. Сам Маск первоначально не предполагал заниматься предложенным им 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. (НТТ) и Hyperloop Technologies Inc., которая позже изменила свое название на Virgin Hyperloop One. Финансирование этих фирм осуществлялось за счет частных финансовых фондов. Позже к ним присоединилась известная в области космических разработок фирма SpaceX, принадлежащая Илону Маску, со своей собственной программой в области Hyperloop.

Развитие работ этих трех фирм за последние два года будем рассматривать по трем следующим направлениям [2,3] :

- построение испытательных трасс небольшой протяженности для проведения экспериментов с элементами транспортной системы;
- разработка вариантов капсулы системы, проверка скоростных параметров вариантов;
- выбор места и маршрута внедряемой транспортной линии, подготовка строительства.

Компания НТТ подписала договор с правительством Франции о создании в Тулузе (Франция) совместного научно-исследовательского центра по проблемам Hyperloop. В начале 2018 года было объявлено, что первой задачей нового центра будет строительство двух экспериментальных трасс, одна длиной 320 метров предназначена для испытания грузовых капсул, а другая длиной 1000 метров для пассажирских капсул. В начале 2019 года НТТ объявила о завершении строительства короткой трассы в 320 метров и переходе к экспериментам на этой трассе.

Компания НТТ заказала разработку экспериментальной капсулы известному испанскому производителю авиационных фюзеляжей Carbuces. Весной 2019 года испанцы продемонстрировали вариант готовой пассажирской капсулы, похожий на капсулу, рассмотренную в исходном докладе Маска 2013 года.

Компания НТТ имеет предварительные соглашения с рядом заказчиков в Центральной Европе и в Азии на разработку проектов пассажирских магистралей Hyperloop. Но наиболее реальными для внедрения считается два проекта. Это трасса длиной 10 км между аэропортом Аль-Мактум 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.

Компания Virgin Hyperloop One в апреле 2017 года завершила строительство своей экспериментальной трассы длиной 500 метров и диаметром трубы в 3,3 метра. В трубе поддерживается давление в 100 Паскалей. Трасса расположена в пустыне Невада рядом с городом Лас-Вегас (США) и получила название DevLoop. Через месяц на трассе начались испытания капсулы, разработанной компанией.

В декабре 2017 года капсула разогналась до скорости 387 км/час, которая оказалась рекордной для этой трассы. Эксперты отметили, что можно было бы достигнуть существенно большей скорости, если бы трасса была длиной 2000 метров.

В мае 2018 года компания объявила о том, что создала совместное предприятие с третьим по величине в мире портовым оператором DP World, 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).

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 компания Virgin Hyperloop One президентом компании стал президент DP World Султан Ахмед бен Сулайем.

Компания SpaceX объявила о начале строительства своей испытательной трассы в начале сентября 2016 года. Формально строительство трассы было связано с международным конкурсом на дизайн пассажирской капсулы, объявленном SpaceX летом 2016 года. В конкурсе, названном Hyperloop pod competition, предполагалось участие студенческих команд ведущих технических университетов мира со своими моделями капсул Hyperloop с последующим испытанием этих капсул в гонке на экспериментальной трассе компании. Первые два этапа конкурса прошли в первой половине 2016 года. В результате были отобраны 22 команды для последующего участия в соревнованиях. Победителем второго этапа стала команда Массачусетского технологического института из города Бостон (США). Финал соревнования должен был состояться в августе того же года, но его из-за строительства трассы перенесли на следующий год.

Финал прошел в августе 2017 года на новой трассе длиной 1500 метров с диаметром трубы в 1,8 метра. Первое место в финале завоевала команда Мюнхенского технического университета из Германии. Их капсула показала скорость в 327 км/час. Но эта величина не оказалась рекордом. Позже Маск показал капсулу, совместно разработанную специалистами компаний SpaceX и Tesla. Эта капсула установила рекордную скорость 355 км/час.

В июле 2018 года прошли новые соревнования, снова выиграла команда Мюнхенского технического университета, но уже с абсолютно рекордным временем в 457 км/час.

В 2017 году Илон Маск организовал новую компанию Boring Company для разработки новых технологий строительства подземных туннелей. Этот интерес к туннелям 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 компанией Boring Company Маск поставил амбициозную задачу: в короткие сроки разработать такую технологию прокладки подземных туннелей, которая обеспечивала бы десятикратное увеличение производительности работ и десятикратное уменьшения стоимости строительства по сравнению с существующими методами.

Известно, что компания Boring Company в 2019 году заканчивает 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. Возможно, что этот туннель будет частью подземной магистрали Hyperloop между Вашингтоном и Нью-Йорком.

Мы кратко рассмотрели результаты деятельности ведущих фирм в области Hyperloop технологии в 2017-2018. приведенный материал показывает, что данная отрасль быстро и активно развивается и является актуальной для новых научных разработок.

1 Структурные исследования

В настоящее время в большинстве проектах пассажирских сетей Hyperloop присутствуют простейшие структуры: магистрали, соединяющие две станции без промежуточных остановок и разветвлений. Примером может служить магистраль между городами Лос-Анджелесом и Сан-Франциско [1]. Протяженность магистрали составляет 561 км. Каждые пять минут с конечных станций отправляются капсулы. Согласно расчетам пассажирская капсула должна проходить это расстояние за 2134 сек (35 мин). За это время капсула на разгон до предельной скорости 1220 км/час тратит 435 сек (7,25 мин), а на торможение до полной остановки 616 сек (10,27 мин). Остальное время она движется с максимальной скоростью. Капсула могла разогнаться и затем затормозить за гораздо меньшее время, если бы не ограничение на величину ускорения капсулы, связанное с

человеческим фактором. Величина ускорения не может превышать половину величины ускорения свободного падения g ($g = 9,81 \text{ м/сек}^2$), т.е. $4,9 \text{ м/сек}^2$. Известно, что нормальный человек легко переносит ускорение величиной $\frac{1}{2} g$, поэтому данное ограничение обеспечивает условие комфортности перевозки пассажиров. Кроме этого, на время разгона и торможения капсулы оказывает влияние рельеф местности, где проходит трасса магистрали.

Процесс разгона и торможения вместе в нашем примере занимает 1051 сек (17,52 мин), что составляет половину общего времени, затрачиваемого капсулой на прохождение всего маршрута. Это достаточно много.

Рассмотрим теперь более сложную структуру магистрали. Предположим, что между двумя конечными точками магистрали нам необходимо в определенном месте ввести дополнительную остановку. Представим себе обычную транспортную схему. Капсула начинает движение из начальной точки, разгоняется, движется с максимальной скоростью, затем в определенный момент начинает тормозить с тем, чтобы остановиться на промежуточной остановке. Допустим, что стоянка длится 5 минут. Затем капсула начинает движение, опять разгоняется до максимальной скорости, движется с этой скоростью и в нужный момент начинает тормозить и останавливается в конечной точке маршрута. Время прохождения всего маршрута увеличивается на суммарное время торможения, разгона и стоянки капсулы на новой остановке. Времена торможения и разгона для разных точек маршрута отличаются друг от друга и зависят от скорости капсулы в данной точке и рельефа маршрута на линиях разгона и торможения. Как мы показали на примере магистрали между Лос-Анджелесом и Сан-Франциско, время разгона и торможения капсулы может быть достаточно большим, поэтому дополнительное время, связанное с обслуживанием новой остановки, может быть также большим. В результате падает качество транспортной системы, т.к. возрастает величина одного из важнейших показателей системы - времени прохождения капсулой всего маршрута.

Для исправления этого недостатка предлагается внести изменения в структуру системы. Назовем основные линии движения капсул по маршруту главными линиями. Их две - одна в прямом направлении, другая - в обратном. Рассмотрим капсулу, которая движется в прямом направлении по главной линии и должна остановиться на промежуточной станции. Введем дополнительную линию, которая начинается в точке начала торможения капсулы и идет вдоль главной линии до остановки. В начале торможения капсула переходит на эту линию, освобождая главную линию для прохода капсул, которые не останавливаются. Капсула тормозит на этой дополнительной линии и останавливается. Если после остановки ей надо продолжить движение по прямой главной линии, она использует продолжение дополнительной линии вдоль главной линии для разгона и, достигнув нужной скорости, переходит на главную линию, встраиваясь в поток капсул, двигающихся без остановки в прямом направлении. Аналогичная дополнительная линия строится вдоль обратной главной линии. Если капсуле не нужно двигаться после остановки в прямом направлении, то её переводят на дополнительную линию вдоль обратного направления, загружают пассажирами, и она разгоняется по этой линии в обратном направлении. При данной структуре обеспечивается возможность для отдельных капсул осуществить остановку на промежуточной станции, не мешая другим капсулам пройти весь маршрут без остановки.

В докладе также рассматривается похожий подход для случая разветвления главных линий.

Литература

1. *Hyperloop Alpha* (pdf). SpaceX (12 August 2013). — Первая концепция системы, предложенная Илоном Маском 12 августа 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), M.: IEEE, 2017.C
3. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Hyperloop>