

Сталева труба Hyperloop

Сім років тому жаркого серпневого дня американський підприємець Ілон Маск вперше оприлюднив концепцію вакуумного потягу Hyperloop (гіперпетля).



Згідно з проєктом, потяг мав подолати 560 км маршруту між околицями Лос-Анджелеса і Сан-Франциско за 35 хвилин, рухаючись зі швидкістю 1200 км /год. Бюджет будівництва попередньо оцінили в \$ 6 млрд.

Згодом у критиків Hyperloop не вистачало пальців на двох руках, щоб перелічити всі «вузькі місця» сміливої ідеї і довести, чому її реалізація неможлива.

Проте, в серпні 2020 року Міністерство транспорту США встановило нормативні вимоги для технології Hyperloop та Маск почав реалізувати свою інновацію на практиці.

Крім того, Федеральне управління залізниць внесло Hyperloop в окрему категорію транспортних засобів, та це створило юридичну основу для отримання державного фінансування проєкту. Сам Ілон Маск називає Hyperloop «п'ятим видом транспорту», чимось середнім між літаком Конкорд, рейкотроном (електромагнітною гарматою) і столом для аерохокея.

Концепція

Розробки високошвидкісних залізниць, що передували "гіперлупу" раз у раз зазнавали невдач через перешкоду у вигляді сили тертя та опору повітря, вплив на високих швидкостях яких був значним.

І тоді творці Hyperloop вирішили обдурити закони фізики. По-перше, це стосується того, як влаштована сама система. По суті, це наземна

[труба великого діаметру](#)

, що прокладена між початком маршруту і кінцевим пунктом. Нею рухається капсула з пасажирями, яка отримала назву pod. У трубі створені умови близькі до вакууму, що практично зводить нанівель фактор опору повітря. Крім того, під час руху pod левітує, а це нівелює силу тертя. Внаслідок, капсула здатна рухатися швидше, ніж літак - зі швидкістю понад 1000 км/год.

Власне, розгін pod до цільової швидкості і створення вакууму і є основним технічним завданням, над яким нині наполегливо працюють інженери проєкту. Необхідно розуміти, що на шалених швидкостях найменша помилка розробників може призвести до страшних наслідків. Також зазначимо, що, відповідно до бачення пана Маска, Hyperloop повинен працювати лише на відновлюваних джерелах енергії, що додає «головного болю» експериментаторам.

Отже, незабаром після того, як 2013 року фахівці Space X і

[Tesla Motors](#)

розробили перший концепт Hyperloop, власник компаній Ілон Маск кинув клич в народ і запропонував удосконалити «гіперпетлю» усім світом. Відтоді експерименти та дослідження в сфері технологій Hyperloop проводяться в режимі open source - всі розробники вільно діляться своїми знахідками з партнерами з проєкту. Тоді ж для подальшого розвитку наряду були створені дві компанії - Hyperloop One та Hyperloop Transportation Technologies (HTT). Остання зараз об'єднує приблизно вісімсот інженерів

з США, які поки що працюють над проектом безоплатно, розраховуючи отримати дивіденди після його реалізації. НТТ вже перетворилася на своєрідний громадський рух, метою якого є створення єдиного світу, де завдяки мережі Hyperloop, яка розкинулась всіма континентами, відстань не має особливого значення.

В Hyperloop One працюють фахівці з найближчого оточення Ілона Маска, що пройшли «школу» SpaceX, Tesla і PayPal. 2017 року одним з керівників Hyperloop One став культовий американський підприємець Річард Бренсон, який інвестував в проєкт \$ 85 млн. Станом на 2020 рік, згідно з недавнім маркетинговим звітом про ринок технологій Hyperloop, в галузі налічувалося вже 10 великих гравців. Сам же ринок, як очікується, в найближчі сім років зросте в грошовому вираженні на третину.

Проте, поки що про комерційну складову Hyperloop говорити зарано. По суті, технологічне рішення «гіперпетлі» ще знаходиться на етапі створення. Але вже зараз зрозуміло, що наріжним каменем майбутньої глобальної мережі Hyperloop стане сталь.

Матеріали

З опису майбутнього інфраструктурного проєкту очевидно, що основним - найбільш протяжним, важливим і витратним елементом Hyperloop буде труба. Матеріал, з якого вона буде виготовлена, повинен забезпечити вакуумне середовище всередині конструкції, гарантувати безпеку руху капсули на величезних швидкостях і витримувати всі погодні негаразди і особливості навколишнього середовища. Крім того, з огляду на велику протяжність майбутньої транспортної інфраструктури (тільки на європейському континенті Hyperloop розкинеться на 10 тис. км), важливим фактором є налагоджене виробництво матеріалу, з якого буде виготовлена труба, і відносно низька собівартість її виробництва.

Команди, що працюють над створенням «гіперпетлі», вивчили низку можливих матеріалів для її будівництва. І на цьому етапі розробки проєкту чаша терезів схилилася в бік сталі. Бетон відкинули через порівняно низьку міцність і труднощі в досягненні повітронепроникності. Від алюмінію, який, нагадаємо, є одним з основних матеріалів в літакобудуванні, відмовилися через його меншу жорсткість, а труби з акрилу виявилися невиправдано дорогими.

Нині дослідники зайняті вивченням різних сил, які в подальшому надалі будуть впливати на сталеву трубу «гіперпетлі». Поки що вони можуть змодельовати лише вплив різниці в тиску повітря всередині труби (там практично вакуум) і повітряного середовища зовні споруди. Отже, розрахунки експериментаторів показують, що із радіусом сталеві труби, який попередньо буде дорівнювати 1,75 м, товщина стінки Hyperloop повинна дорівнювати 25 мм - тонкіша стінка не витримає викривлення внаслідок внутрішніх напружень, спричинених вакуумом.



Звичайно, для створення такої труби довжиною в тисячі кілометрів знадобиться колосальна кількість сталі. Її виробництво – насамперед, завдяки обсягу - буде не лише дорогим, але і, поза всяким сумнівом, матиме серйозний вплив на навколишнє середовище. Крім того, інженери розуміють, що сталева труба, зафіксована між «вузлами» кінцевих станцій, неминуче буде реагувати на мінливі погодні умови.

Наприклад, вони шукають можливість нівелювати явище теплового розширення сталі, яке спостерігається за умови підвищення температури навколишнього середовища. Також оцінюються наслідки ударів вітрової стихії і неминучої корозії металу.

Ці виклики змушують розробників Hyperloop, як і їхніх колег-авіабудівників, «дивитися в бік» сучасних композитних матеріалів.

По-перше, композити легші, ніж сталь.

По-друге, завдяки особливостям виробництва композитні труби будуть товщі за сталеві, що дозволить в значній мірі розв'язати проблему викривлення «гіперпетлі». По-третє, композити не надто чутливі до температурних коливань, тому ризик їхнього теплового розширення буде значно нижчий, ніж у сталевих «трубопроводах». По-четверте, з використанням композитів з'являється можливість виробляти трубу великої довжини, у такий спосіб знижуючи кількість стикувальних елементів.

Зокрема, трохи більше року тому дослідники з Делфтського технологічного університету (Нідерланди) запропонували ідею використання бетону надвисокої якості з арматурою із сталевих волокон. Великонадійно виглядає і застосування композиційних матеріалів з алюмінієвою матрицею - це легкі матеріали, стійкі до тиску і температурного впливу, загалом вища, ніж у сталі.

Втім, всі ці аргументи прихильників композитної «гіперпетлі» розбиваються об фінансову сторону питання. Виробництво сталевих труб для Hyperloop буде істотно дешевшим, ніж випуск труб з композитних матеріалів. Тому, поки що сталь як матеріал для футуристичної труби Hyperloop конкурентів не має.

<https://metinvestholding.com/ua/media/news/staljnaya-truba-hyperloop>