

УДК 629.439

## МАГЛЕВ. ПОЕЗД НА МАГНИТНОЙ ЛЕВИТАЦИИ

Демещик А.В., Рымко А.И.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Константинова С. В.

Магнитолевитационные поезда (маглевы) – самый быстрый вид наземного общественного транспорта, которые совмещают комфорт и безопасность. Маглев — состав, который использует магнитную левитацию для перемещения, при этом не имея контакта с землёй. Данные поезда способны ездить в любую погоду и не могут сойти со своего единственного рельса — чем дальше поезд отклоняется от путей, тем сильнее его толкает обратно магнитная левитация.

В 1902 году появился патент на конструкцию поезда, оснащенного линейным двигателем (линейный двигатель — электродвигатель, у которого один из элементов магнитной системы разомкнут и имеет развёрнутую обмотку, создающую бегущее магнитное поле, а другой выполнен в виде направляющей, обеспечивающей линейное перемещение подвижной части двигателя), немецкого изобретателя Альфреда Зейдена. Спустя четыре года Франклин Скотт Смит разработал еще один ранний прототип поезда на электромагнитном подвесе. В период с 1937 года по 1941 год, еще нескольких патентов, получил немецкий инженер Герман Кемпер. В конце 1940-х годов британскому инженеру Эрику Лэйзвейту, которого многие называют «отцом маглевов», удалось разработать первый рабочий полноразмерный прототип линейного асинхронного двигателя. Позже, в 1960-х годах, он присоединился к разработке скоростного поезда Tracked Hovercraft (Рисунок 1).



Рисунок 1 - Скоростной поезд Tracked Hovercraft



Рисунок 2 – Шанхайский маглев, произведенный в Германии

В 1973 году проект закрыли из-за нехватки средств. В 1979 году появился первый в мире прототип поезда на магнитной подушке для предоставления услуг по перевозке пассажиров – Transrapid 05. Испытательный трек длиной 908 м был построен в Гамбурге и представлен в ходе выставки IVA 79. Максимальная скорость этого поезда составляла 75 км/ч. Первый коммерческий магнитоплан появился в 1984 году в Бирмингеме, Англия. Железнодорожная линия на магнитном подвесе соединяла терминал

международного аэропорта Бирмингема и расположенную рядом железнодорожную станцию. Она успешно проработала с 1984 по 1995 год. Протяженность линии составляла всего 600 м, высота, на которую состав с линейным асинхронным двигателем поднимался над полотном дороги – 15 миллиметров. В 2003 году на ее месте была построена система пассажирских перевозок AirRail Link на базе технологии Cable Liner. В 1980-х годах к разработке и реализации проектов по созданию высокоскоростных поездов на магнитной подушке приступили в Японии, Корее, Китае и США (Рисунок2).

Известные свойства магнитов – притяжение разноименных полюсов и отталкивание одноименных, заложен в маглевах, которые скользят по воздуху над рельсом на незначительном расстоянии. Магнит впереди тянет с помощью притягивающего (противоположного) магнитного полюса, а магнит сзади толкает с помощью отталкивающего (аналогичного) магнитного полюса. Магнит посередине движется вперед. Путепровод Маглева состоит из длинного ряда электромагнитов, которые тянут поезд спереди и толкают его сзади. Электромагниты питаются от источников регулируемых переменных токов, поэтому они могут быстро менять свои тяговые и толкающие полюса и, таким образом, непрерывно продвигать поезд вперед (рисунок.3).

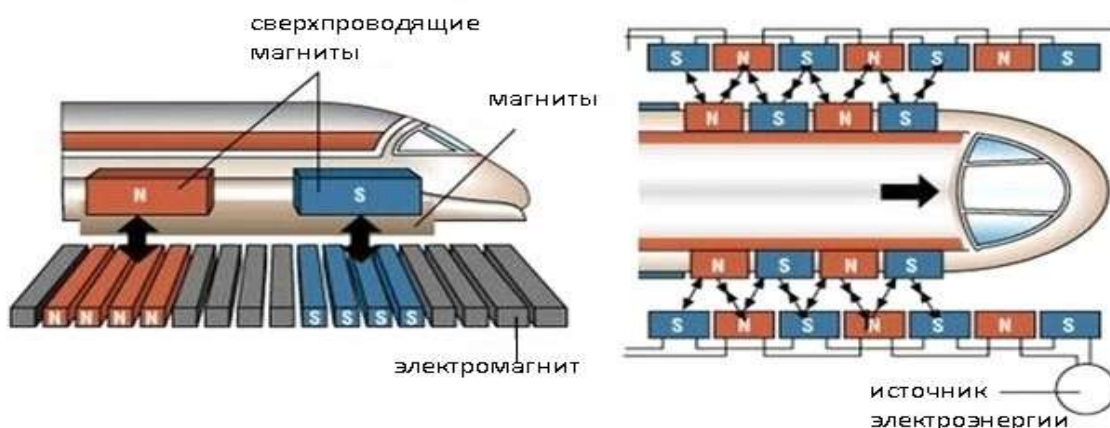


Рисунок 3 – Схема расположения магнитной системы маглева.

Существует три технологии магнитного подвеса - две основные EMS, EDS и одна экспериментальная (рисунок.4):



Рисунок 4 – Виды левитации.

1. Поезда, построенные на базе технологии электромагнитного подвеса (EMS) для левитации используют электромагнитное поле, сила которого изменяется по времени. Практическая реализация данной системы похожа на работу обычного железнодорожного транспорта. Применяется Т-образное рельсовое полотно, выполненное из проводника (в основном металла), поезд вместо колесных пар использует систему опорных и направляющих электромагнитов, которые расположены параллельно к ферромагнитным статорам, размещенным на краях Т-образного пути. Основной недостаток технологии EMS – расстояние между опорным магнитом и статором, которое составляет 15 миллиметров и должно контролироваться, и корректироваться специальными автоматизированными системами в зависимости от множества факторов, включая непостоянную природу электромагнитного взаимодействия. Работает система левитации благодаря батареям, установленным на борту поезда, которые подзаряжаются линейными генераторами, встроенными в опорные магниты. В случае остановки поезд сможет достаточно долго левитировать на батареях.

2. В случае применения технологии электродинамического подвеса (EDS) левитация осуществляется при взаимодействии магнитного поля в полотне и поля, создаваемого сверхпроводящими магнитами на борту состава. Сверхпроводящий магнит представляет собой соленоид или электромагнит с обмоткой из сверхпроводящего материала, как известно, обмотка в состоянии сверхпроводимости обладает нулевым омическим сопротивлением. Если такая обмотка замкнута накоротко, то наведённый в ней электрический ток сохраняется практически сколь угодно долго. Магнитное поле незатухающего тока, циркулирующего по обмотке сверхпроводящего магнита, исключительно стабильно и лишено пульсаций, что важно для ряда приложений в научных исследованиях и технике. Обмотка сверхпроводящего магнита теряет свойство сверхпроводимости при повышении температуры выше критической температуры  $T_k$  сверхпроводника, при достижении в обмотке критического тока  $I_k$  или критического магнитного поля  $H_k$ . Учитывая это, для обмоток сверхпроводящих магнитов применяют материалы с высокими значениями  $T_k$ ,  $I_k$  и  $H_k$ . Сверхпроводящие электромагниты могут проводить электричество даже после того, как источник питания был отключен, например, в случае отключения электроэнергии. Основным достоинством системы EDS является высокая стабильность – при незначительном сокращении расстояния между полотном и магнитами возникает сила отталкивания, которая возвращает магниты в первоначальное положение, в то же время увеличение расстояния снижает силу отталкивания и повышает силу притяжения, что опять же ведет к стабилизации системы. В этом случае никакой электроники для контроля и корректировки расстояния между поездом и полотном не требуется. Недостатки: - достаточная для левитации состава сила возникает только на больших скоростях, поэтому поезд на системе EDS должен быть оснащен колесами, которые смогут обеспечивать движение при низких скоростях (до 100 км/ч). Соответственные изменения также должны быть внесены по всей

длине полотна, так как поезд может остановиться в любом месте в связи с техническими неисправностями; -при низких скоростях в передней и задней частях отталкивающих магнитов в полотне возникает сила трения, которая действует против них. Сильные магнитные поля в секции для пассажиров требуют установки магнитной защиты. Без экранирования путешествие в таком вагоне для пассажиров с электронным стимулятором сердца или магнитными носителями информации, противопоказано.

3. Третьей, наиболее близкой к реализации технологией, существующей пока только на бумаге, является вариант EDS с постоянными магнитами Inductrack, для активации которых не требуется энергия. Ранее считалось, что постоянные магниты не обладают достаточной для левитации поезда силой. С помощью размещения магнитов в «массив Хальбаха» этот вопрос возможно решить. Магниты при этом расположены таким образом, что магнитное поле возникает над массивом, а не под ним, и способны поддерживать левитацию поезда на очень низких скоростях – около 5 км/ч. Стоимость таких массивов из постоянных магнитов очень высока, поэтому пока и не существует ни одного коммерческого проекта данного рода.

Таким образом, можно сделать следующее заключение: преимущества магнитолевитационных поездов:

- отсутствие движущихся частей, как в обычных поездах, что значительно снижает стоимость обслуживания;
- отсутствие между поездом и рельсом физического контакта, поэтому сопротивление качению отсутствует;
- отсутствие колес;
- достаточная безопасность для окружающей среды, из-за отсутствия двигателей внутреннего сгорания.
- устойчивы к погодным условиям, что означает, что дождь, снег или сильный мороз не мешают их работе.
- Системы Маглева являются энергоэффективными. Для дальних путешествий они используют около половины энергии на пассажира в качестве типичного коммерческого самолета.
- безопасность. Поезда Маглева «движутся» по механизированной направляющей. Любые два поезда, движущиеся по одному и тому же маршруту, не могут догнать и врезаться друг в друга, потому что все они способны двигаться с одинаковой скоростью. Точно так же традиционные крушения поезда, которые происходят из-за слишком быстрого поворота, не могут случиться с Маглевом. Чем дальше поезд Маглева попадает из своего нормального положения между стенами направляющей, тем сильнее становится магнитная сила, толкающая его на место.

К недостаткам магнитолевитационных поездов относятся:

- высокая стоимость при начальной стройке. В то время как быстрые обычные поезда, отлично работают на путях, которые предназначались для медленных поездов, поезда Маглев требуют абсолютно новой установки с нуля.
- маглевы не гарантируют какую-либо прибыль. Например, шанхайский маглев приносит ежегодные убытки в размере \$93 миллионов.



На данный момент множество стран продолжают инвестировать огромные средства в проекты по созданию высокоскоростных железнодорожных магистралей (ВСМ). Например, в Японии были возобновлены скоростные испытания поезда на магнитной подушке Maglev L0, который планируют ввести в эксплуатацию к 2027 году.

#### Литература

1. Barbara Saffer How Maglevs Work [Электронный ресурс] / , Barbara Saffer — Электронные данные. — Режим доступа: <https://www.eduplace.com/science/hmxs/ps/mode2/cricket/sect7cc.shtml>, свободный.
2. Transrapid MagLev System. Darmstadt: Hestra-Verlag, 1989
3. Дроздов Б. В., Терентьев Ю. А. Перспективы вакуумного магнитолевитационного транспорта // Мир транспорта : журнал / учредитель: Моск. гос. ун-т путей сообщения (МИИТ). — 2017. — № 1. — С. 90–99
4. Как работает маглев [Электронный ресурс] — Электронные данные. — Режим доступа: <https://hi-news.ru/eto-interesno/kak-rabotaet-maglev.html>, свободный.
5. Поезда на магнитной подушке: почему «транспорт будущего» не прижился [Электронный ресурс] — Электронные данные. — Режим доступа: <https://rb.ru/story/maglevs-now/>, свободный.
6. Поезда на магнитной подушке – транспорт, способный изменить мир [Электронный ресурс] — Электронные данные. — Режим доступа: <https://itc.ua/articles/poezda-na-magnitnoy-podushke-transport-sposobnyiy-izmenit-mir/>, свободный.
7. Преимущества и недостатки поездов на магнитной подушке [Электронный ресурс] — Электронные данные. — Режим доступа: <http://www.enersy.ru/energiya/preimuschestva-i-nedostatki-poezdov-na-magnitnoy-podushke.html>, свободный.
8. Соломин А. В. Система магнитолевитационного транспорта со стабилизацией воздушного зазора // Известия высших учебных заведений. Электромеханика : науч.-техн. журн. / Южно-Рос. гос. техн. ун-т. — 2019. — № 5. — С. 88–93
9. Что такое «летающий поезд»: плюсы и минусы [Электронный ресурс] — Электронные данные. — Режим доступа: <https://auto.mail.ru/article/71571-cto-takoe-letayushchii-poezd-plyusy-i-minusy/>, свободный.