

УДК 621.318

## ПОЕЗДА НА МАГНИТНОЙ ПОДВЕСКЕ

Юхневич М.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Ежов В.Д.

Технология, основанная на принципе магнитной левитации, или магнитного подвеса, получила распространенное название maglev – от magnetic levitation. Родоначальником этого вида транспорта считается американский ученый Р. Годдарт, который еще в 1904 г. подал идею поезда, опирающегося на магнитное поле. В 1910 г. французский инженер Э. Башле построил модель и подал заявку на «Летающий поезд», а в 1912 г. получил на него патент.

В 1971 г. первый функциональный поезд германской фирмы «Трансрапид» стал совершать опытные поездки по испытательному участку и вскоре достиг скорости 250 км/час. В 1979 г. на Первой международной транспортной выставке в Гамбурге была показана линия длиной 908 м, которая успешно перевезла 5 тыс. пассажиров. В первой половине 1980-х была построена экспериментальная трасса компании «Трансрапид» в долине реки Эмс протяженностью 32 км и скоростью движения поездов 400–450 км/час. В 1984–1995 гг. в Бирмингеме (Великобритания) работала первая в мире коммерческая дорога на магнитном подвесе между аэропортом и железнодорожной станцией длиной 600 м со скоростью движения поезда 42 км/час.

В 2001–2003 гг. была создана и вошла в строй коммерческая маглев-трасса г. Шанхай (метро Лонгян) – аэропорт Пудонг протяженностью 30 км с максимальной скоростью движения поездов 430 км/час и графиковым временем в пути 7,5 мин. (На испытаниях достигнута скорость 501 км/час) Сама эстакада создана китайскими инженерами, а 15 поездов – «Трансрапидом». Общая стоимость проекта составила \$1,2 млрд. В планах китайского правительства построить маглев-трассу Шанхай – Ханьчжоу длиной 170 км стоимостью \$4 млрд и Шанхай – Пекин протяженностью 1,2 тыс. км (\$22 млрд).

В Японии к 1972 г. был создан успешно прошедший испытания вагон на магнитном подвесе, а через три года поезд удалось разогнать до 550 км/час. В настоящее время в префектуре Яманаси построен испытательный участок длиной 18 км, на котором 2 декабря 2003 г. опытный поезд MLX01 установил рекорд скорости 581 км/час. К открытию выставки ЭКСПО-2005 в г. Нагоя была введена в коммерческую эксплуатацию 9-километровая трасса Линимо из девяти станций со скоростью 100 км/час. Сегодня руководство Центральной японской железнодорожной компании заявляет о своем стремлении в обозримом будущем заменить высокоскоростную сеть «Синкансен» на маглев-трассу.

В настоящее время в Германии проектируются две новые линии: Мюнхен – аэропорт (37 км) пропускной способностью 6,5 млн пассажиров в год и Дюссельдорф – Дортмунд (78 км). Общая стоимость работ – 3,2 млрд, из них 1,75 млрд из федерального бюджета Германии. В 2006 году реализация проекта системы, аналогичной «Трансрапиду», началась в Республике Корея. Проектом предусмотрено сооружение в г. Инчхоне трех участков линии общей протяженностью 53,2 км.

В основе технологии магнитного подвеса лежат три основных подсистемы: левитации, стабилизации и ускорения. В то же время на данный момент существует две основных технологии магнитного подвеса и одна экспериментальная, доказанная лишь на бумаге.

Поезда, построенные на базе технологии электромагнитного подвеса (EMS) для левитации используют электромагнитное поле, сила которого изменяется по времени. При этом практическая реализация данной системы очень похожа на работу обычного железнодорожного транспорта. Здесь применяется Т-образное рельсовое полотно, выполненное из проводника (в основном металла), но поезд вместо колесных пар использует систему электромагнитов – опорных и направляющих (Рисунок 1). Опорные и направляющие магниты при этом расположены параллельно к ферромагнитным статорам, размещенным на краях Т-образного пути. Главный 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. К слову, работает система левитации благодаря батареям, установленным на борту поезда, которые подзаряжаются линейными генераторами, встроенными в опорные магниты. Таким образом, в случае остановки поезд сможет достаточно долго левитировать на батареях. На базе технологии EMS построены поезда «Трансрапид» и, в частности, шанхайский маглев (Рисунок 2).

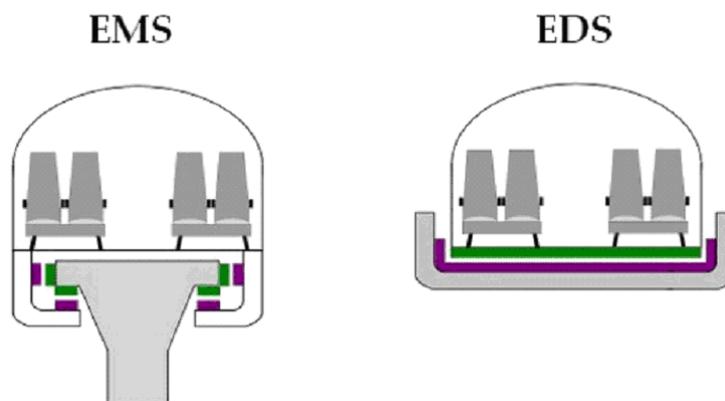


Рисунок 1 Принципы электромагнитного и электродинамического подвеса



Рисунок 2 Шанхайский маглев EMS

Поезда на базе технологии EMS приводятся в движение и осуществляют торможение с помощью синхронного линейного двигателя низкого ускорения, представленного опорными магнитами и полотном, над которым парит магнитоплан. По большому счету, двигательная система, встроенная в полотно, представляет собой обычный статор (неподвижная часть линейного электродвигателя), развернутый вдоль нижней части полотна, а опорные электромагниты, в свою очередь, работают в качестве якоря электродвигателя. Таким образом, вместо получения крутящего момента, переменный ток в катушках генерирует магнитное поле возбуждающихся волн, которое перемещает состав бесконтактно. Изменение силы и частоты переменного тока позволяет регулировать тягу и скорость состава. При этом чтобы замедлить ход, нужно всего лишь изменить направление магнитного поля.

В случае применения технологии электродинамического подвеса (EDS) левитация осуществляется при взаимодействии магнитного поля в полотне и поля, создаваемого сверхпроводящими магнитами на борту состава. На базе технологии EDS построены

японские поезда JR–Maglev В отличие от технологии EMS, в которой применены обычные электромагниты и катушки проводят электричество только в тот момент, когда подается питание, сверхпроводящие электромагниты могут проводить электричество даже после того, как источник питания был отключен, например, в случае отключения электроэнергии. Охлаждая катушки в системе EDS можно сэкономить достаточно много энергии. Тем не менее, криогенная система охлаждения, используемая для поддержания более низких температур в катушках, может оказаться достаточно дорогой.

Главным преимуществом 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.

Правда, без недостатков здесь также не обошлось – достаточная для левитации состава сила возникает только на больших скоростях. По этой причине поезд на системе EDS должен быть оснащен колесами, которые смогут обеспечивать движение при низких скоростях (до 100 км/ч). Соответствующие изменения также должны быть внесены по всей длине полотна, так как поезд может остановиться в любом месте в связи с техническими неисправностями.

Еще одним недостатком EDS является то, что при низких скоростях в передней и задней частях отталкивающих магнитов в полотне возникает сила трения, которая действует против них. Это одна из причин, по которой в JR–Maglev отказались от полностью отталкивающей системы и посмотрели в сторону системы боковой левитации.

Стоит также отметить, что сильные магнитные поля в секции для пассажиров порождают необходимость установки магнитной защиты. Без экранирования путешествие в таком вагоне для пассажиров с электронным стимулятором сердца или магнитными носителями информации (HDD и кредитные карточки), противопоказано.

Третьей, наиболее близкой к реализации технологией, существующей пока только на бумаге, является вариант EDS с постоянными магнитами Inductrack, для активации которых не требуется энергия. До недавнего времени исследователи считали, что постоянные магниты не обладают достаточной для левитации поезда силой. Однако эту проблему удалось решить путем размещения магнитов в так называемый «массив Хальбаха». 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. Правда, стоимость таких массивов из постоянных магнитов очень высока, поэтому пока не существует ни одного коммерческого проекта данного рода.

Что можно сказать о потенциальных плюсах и минусах дорог на магнитном подвесе?

- В технической области: линия Шанхай – Пудунг показала себя вполне устойчивой и надежной. Поезда явили реальную способность штатно ездить со скоростью 400– 430 км/час.
- В экологической сфере: опасения относительно разрушающего влияния магнитного поля на здоровье пассажиров полностью опровергнуты, в том числе и теоретически. Отсутствие трещин при движении частей делает поезда практически бесшумными. Наличие эстакады приветствуется всеми экологами как меньшее зло по сравнению с обычной железнодорожной линией (Рисунок 3).
- В области экономики. Учитывая, что средний пассажиропоток 7 тыс. человек в сутки, а билет стоит \$7– 8, затраченные на строительство \$1,2 млрд можно будет вернуть лишь спустя примерно 60 лет. К этому добавляется общепризнанный факт, что магнитные дороги значительно дешевле в эксплуатации, чем железные. Во всяком случае, Шанхайский маглев сполна покрывает свои эксплуатационные затраты, а ведь 2,5 млн пассажиров в год для обычных высокоскоростных железнодорожных магистралей считается очень небольшим объемом, примерно в два раза меньшим уровня рентабельности. В среднем, по некоторым данным, экономия магнитных дорог на эксплуатационных расходах по сравнению с технологией «колесо – рельс» составит порядка 65%.



Рисунок 3 Маглев-трасса Шанхай – Пудунг

#### Литература

1. Скрипин В. Поезда на магнитной подушке – транспорт, способный изменить мир  
<http://itc.ua/articles/poezda-na-magnitnoy-podushke-transport-sposobnyiy-izmenit-mir/>
2. По китайскому пути. «РЖД-Партнер» № 19 (167) октябрь 2009,  
<http://guryevandrey.narod.ru/artikals/Maglev.pdf>