

**III Всероссийская научно-практическая конференция обучающихся
«АРИСТОТЕЛИКА»**

Номинация: физика

Название работы: **«Транспорт на магнитной подушке».**

Автор работы: **Власов Данил Сергеевич, ГАПОУ СКАТК, 2 курс**

Научный руководитель: **Икаева Татьяна Викторовна, преподаватель
специальных дисциплин.**

Содержание работы:

Введение

Основная часть

- Понятие магнитной левитации;
- Разработки маглевок в разных странах;
- Принцип работы маглева.

Заключение

- Принцип работы пушки Гаусса;
- Применение пушки Гаусса;
- Использование магнитной подушки на автомобильном транспорте.

Список использованных источников и литературы.

Транспорт на магнитной подушке

Автор работы: Власов Данил Сергеевич, ГАПОУ СКАТК, 2 курс

Научный руководитель: Икаева Татьяна Викторовна

Аннотация.

Данная научно-исследовательская работа посвящена технологии работы транспорта на магнитной подушке. Проект включает в себя, как информацию из русскоязычных и англоязычных источников, так и представление собственной разработки новых технологий создания и обслуживания транспорта на магнитной подушке.

Цель работы:

- поиск рациональных способов достижения большей скорости движения маглева;
- исследование путей внедрения технологии магнитной левитации на территории РФ;
- модернизация устройства транспорта на магнитной подушке.

Методы: теоретический, практический.

Предложенный нами способ подойдет для строительства не только, как путь, соединяющий 2 населенных пункта, но и как внутригородской транспорт, так как с помощью ускорителей на пушке Гаусса легче контролировать и регулировать скорость данного транспорта. Создание

такой общественной городской транспортной системы обеспечит снижение загруженности дороги.

Введение.

Инфраструктурный комплекс – это одна из нескольких основ любого государства. Особенную роль инфраструктуры экономики приобрела именно в период настоящего времени, периода постиндустриального. Как известно, инфраструктура экономики любого государства невозможна без участия в ее составе коммуникационной системы, т.е. транспорта. Основная задача транспорта, транспортных систем – это не только перевозка пассажиров, но и перевозка грузов, энергии. Кроме того транспорт соединяет несколько регионов одной или нескольких стран. История успешно демонстрировала, как транспортное сообщение, бесспорно, влияет на экономическое, а, следовательно, и на социальное благосостояние страны. Так, например, строительство Китайско-Восточной железной дороги дало огромный толчок развития для отсталого тогда китайского города Маньчжурия, где население стремительно увеличилось (на несколько миллионов за пару лет). Одним из ключевых требований к современному транспорту является его скорость, особенно в условиях такой страны, как Россия, территория которой «растянута» в ширину. В величине баланса между стоимостью и скоростью грузоперевозок, несомненно, выигрывает железнодорожный транспорт. Соответственно развитию железнодорожного сообщения выгоднее уделить большее влияние, подвергнув его модернизации.

Первые поезда работали на пару и развивали скорость около 20 км/ч. После процессов электрификации с 1960 году начали появляться высокоскоростные поезда. Современные высокоскоростные поезда развивают скорость до 400 км/ч. Увеличение скорости движения данного вида наземного транспорта было достигнуто главным образом:

- совершенствованием двигателей;
- изменением формы передней части поезда, подобно носовой части самолета, позволяя снизить сопротивление воздушных потоков;
- снижением механического сопротивления.

Другой причиной, уменьшающей скорость движения железнодорожного транспорта является сила трения. Частично данная проблема также была преодолена.

Поезд, удерживаемый над полотном дороги, движимый и управляемый силой электромагнитного поля, при перемещении которого не возникает силы трения с поверхностью рельс, называют маглевом (от англ. «Magnetic levitation» – «магнитная левитация»).

Актуальность внедрения технологии маглева в современную жизнь несомненна, по этой причине объектом исследования нашей проектной работы была выбрана данная технология наземного транспорта.

Цель работы:

- поиск рациональных способов достижения большей скорости движения маглева;

- исследование путей внедрения технологии магнитной левитации на территории РФ;
- модернизация устройства транспорта на магнитной подушке.

Задачи работы:

- исследование понятия магнитной левитации;
- анализ процесса работы маглева;
- снижение стоимости строительства и обслуживания маглева;
- изучение уже существующих аналогов поездов на магнитной подушке.

Методы: теоретический, практический.

Основная часть.

Понятие магнитной левитации. Принцип работы маглева основан на эффекте магнитной левитации. **Магнитная левитация** – это подъем тела при помощи магнитного поля. Естественно, явление магнитной левитации не может существовать без тела, обладающего собственным магнитным полем, т.е. магнита. Самый «примитивный» пример магнитной левитации: приблизить два магнита друг к другу разными полюсами. Магниты будут отталкиваться. Если их отпустить, то один из них перевернется противоположной стороной с противоположной полярностью и магниты притянутся друг к другу. Этот способ некорректно называть «магнитной левитацией», но именно он лучше всего дает представление об этом явлении. Кроме прочего невозможность подвесить друг над другом два постоянных магнита является следствием теоремы Ирншоу. Ошибочно полагать, что реализация технологии магнитной левитации может конкурировать с такой теоремой, как Теорема Ирншоу, которая звучит следующим образом: «система покоящихся точечных зарядов, расположенных на любом расстоянии друг от друга, не может находиться в состоянии устойчивого равновесия», т.е. согласно вышеприведенной теореме, «левитации», как таковой происходить не может, однако, это не совсем так.

Справедливо отметить, что говоря о технических аспектах применения Теоремы Ирншоу, существуют определенные пути создания эффекта левитации при определённых условиях.

Первые патенты транспорта на магнитной подушке приписывают немецкому ученому Герману Кемперу. Свои исследования в области магнитной левитации он начал еще в 1922 году. В 1934 году он получил патент, назвав свое изобретение «монорельсовая машина без колес».

Разработки маглевов в разных странах. Разработкой технологии маглев занимались еще в прошлом столетии. Первый транспортный путь с применением технологии магнитной левитации был построен в Берлине в 1980 годах, однако для публичного пользования был открыт лишь в 1989 году, проработав 3 года.

За время тестирования берлинский маглев попадал в несколько аварий. В настоящее время транспортные пути для маглева демонтированы. Демонтаж был произведен после разрушения Берлинской стены.



Рис. 3 Маглев М-Bahn.

Другая немецкая дорожная система для маглева находилась в городе Эмсланд, но на данный момент эмсландский маглев не курсирует по путям города, в 2012 году систему - маглев закрыли. Следует отметить, что строительством и обслуживанием системы полностью занималась коммерческая организация, в отличие от берлинского маглева.

Единственные ныне действующие маглевы располагаются в 3 азиатских странах: в Южной Корее, Китае и в Японии.

Япония вероятнее всего лидер в отрасли развития транспорта на магнитной подушке. Именно японскому маглеву, расположенному вблизи г. Яманаси, принадлежит рекорд по скорости – около 600 км/ч. (для сравнения крейсерская скорость самолета Ан-24 равна 450 км/ч). Также на территории Японии располагается и другой маглев Linimo, находящийся около г. Нагоя. Особенность последнего заключается в том, что это первый беспилотный коммерческий маглев.

Эксплуатация Шанхайского маглева была начата в 2004 году, который для движения использует схему монорельс и развивает скорость примерно 400 км/ч.

Строительство путей для поезда на магнитной подушке было дорогим – 10 млрд. юаней $\approx$ 1,5 млн. долларов $\approx$ 112 млн. рублей.



Рис. 4 Шанхайский маглев.

Самая новая транспортная система – маглев была открыта в Южной Корее 3 февраля 2016 года. Открытие корейского маглева позволило соединить путь станций метро с аэропортом Инчхоу.

Принцип работы маглева. Маглев работает на синхронном линейном двигателе (разновидность электрического двигателя). Данный вид двигателя трудно регулировать, он движется с одной скоростью, зависимой от скорости вращающегося магнитного поля. Рассчитать синхронную скорость можно по формуле $N_s = 120F/p$, где F -частота, P -кол-во полюсов магнитов.

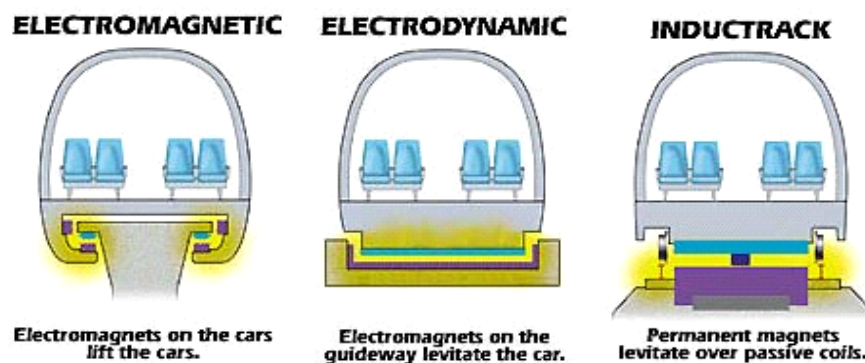


Рис. 6 Схематичное представление 3 способов реализации маглева

Основной принцип работы маглева сложнее. Существует 3 вида технологии поездов на магнитной подушке с применением:

- Электромагнитов (Electromagnetic);
- Сверхпроводников (Electrodynamic);
- Постоянных магнитов (Inductrack).

Электромагнитный метод (Electromagnetic). Маглев, основанный на работе электромагнитов, приводится в движение благодаря парным магнитам, расположенным сбоку и внизу шасси под рельсами. Одна пара магнитов задействуется непосредственно для движения маглева и является постоянными магнитами, другая пара электромагнитов используется для стабилизации поезда во время движения. Именно эта технология используется в Шанхайском маглеве. Поезд «зависает» в воздухе даже когда не едет на примерной высоте 30 мм. Расстояние между поездом и рельсами постоянно фиксируется и подвергается корректировки с помощью компьютера, чтобы избежать аварии.

В случае отказа электросети запускается резервный аккумулятор, установленный на самом маглеве, который и позволяет совершить плавную остановку.

Недостатки: Данная система обладает сравнительно низкой стабильностью, требует создания отдельных систем контроля за зазором. Также имеет место быть трудность, снижающая стабильность размера зазора – воздушные потоки.

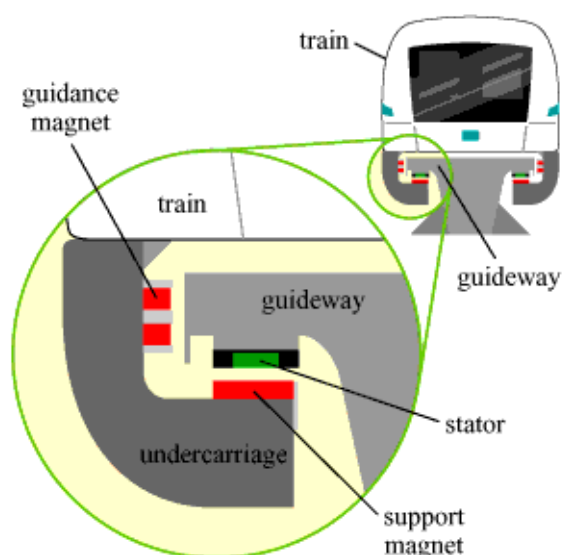


Рис. 7 Подробное изображение устройства маглева на электромагнитах

Использование сверхпроводников или электродинамический метод. (Electrodynamic). Принцип работы на технологии сверхпроводников несколько отличается. Такой принцип работы также называют электродинамическим. Электродинамическая подвеска маглева основана на отталкивании магнитов. «Левитация» возникает благодаря Эффекту

Мейснера. Одно из свойств сверхпроводников, выделяющих их среди остальных магнитов – это способность при переходе в сверхпроводящее состояние вытеснять внешнее магнитное поле. Переход в сверхпроводящее состояние возникает при достижении определенной температуры (обычно необходимая температура ниже нуля, тем не менее, ведутся разработки по созданию сплавов со свойствами перехода в сверхпроводящее состояние при более высоких температурах).

Сила магнитной левитации равномерно распределяет вес транспорта, приводя его в устойчивую позицию, т.е. при движении зазор между поездом и рельсами не требует корректировки. Однако, маглев с электродинамической подвеской способен подниматься в воздух лишь при достижении высоких скоростей, которую маглев развивает при помощи обыкновенных колес.

Одна из ключевых особенностей данной системы заключается в свойстве сверхпроводников, которые принято использовать, потому что именно они могут проводить электрический ток даже после того, как блок питания был отключен (в отличие от электромагнитов). Сверхпроводники необходимо постоянно охлаждать. Маглев на электродинамической подвеске используется в Японии.

Недостатки: Постоянная необходимость охлаждать сверхпроводники. Оборудование всего пути рельсами для колес для достижения отказобезопасности. Кроме вышеперечисленного следует отметить, что

грузоподъемность маглева на принципе электродинамического метода ограничена. Причина заключается в том, что при достижении определённой напряженности магнитного поля сверхпроводники теряют свои свойства, т.е. маглев попросту «упадет».

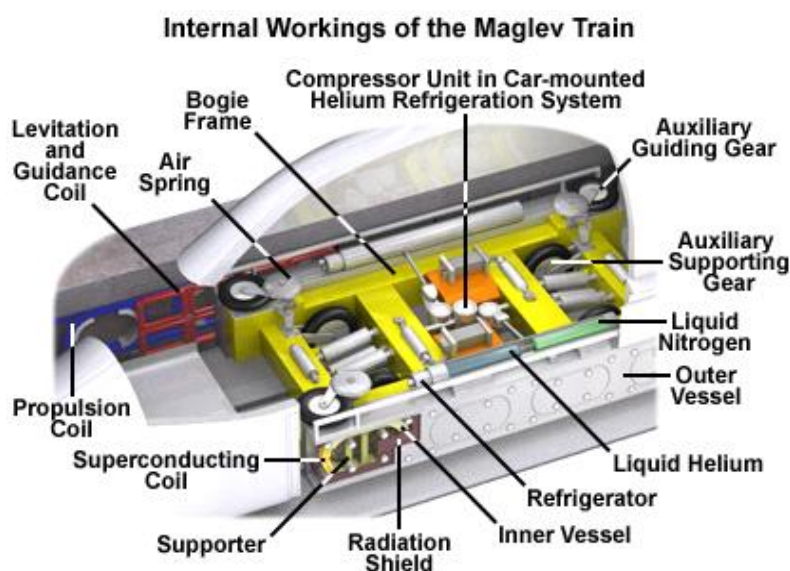


Рис. 8 Подробное изображение устройства маглева на электродинамической подвеске

Метод при помощи постоянных магнитов (Inductrack). Третий способ основан на постоянных магнитах и не требует никаких дополнительных вмешательств, как в двух первых способах, для поддержки левитации поезда, т.е. система более автоматизирована и самостоятельна. Он был предложен группой ученых из Ливерморской национальной лаборатории под руководством Ричарда Поста. Магнитная левитация может осуществляться благодаря неодимовому магниту, который создает особенно большие магнитные поля. Неодимовый магнит помещается в магнитную

сборку Халбаха. Данная конструкция устанавливается на нижней части маглева. («на бумаге» также доказаны методы с использованием 2 магнитныхборок Халбаха)

Ток в слоях из витков медной проволоки, расположенный под рельсами – катушка индуктивности – индуцируются под действием магнитного поля конструкции, расположенной на маглеве, поднимая его в воздух и стабилизируя.

Грузоподъемность состава – в 50 раз больше веса магнита. Разработчики предполагают, что маглев сможет развивать скорость, равную около 350 км/ч.

Следует отметить, что «левитация» маглева возникает только при достижении определенного порога скорости (примерно 1-2 км/ч). До перехода в состояние «парения» маглев по задумке должен развивать скорость, благодаря обыкновенным колесам. Данная технология еще не была реализована на практике, созданы лишь макеты, которые тем не менее подтверждают верность теоретических предположений создателей метода при помощи постоянных магнитов Inductrack.

Недостатки: необходимость оборудовать путь рельсами для колес.

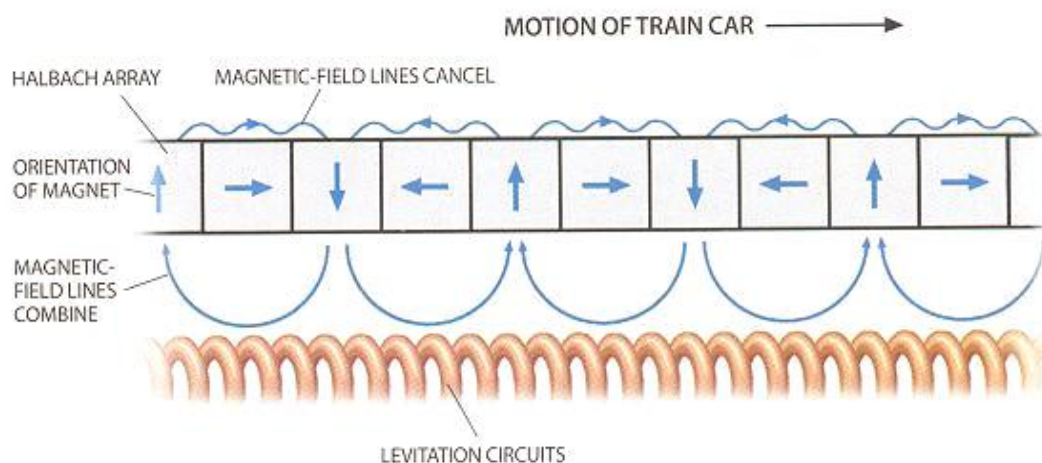


Рис. 9 Схематическое представление работы маглева метода Inductrack.

Магнито-динамический метод (Magneto-dynamic). Нижеприведенный метод был разработан Олегом Тозони, эмигрантом из СССР. Магнитодинамический метод с использованием постоянных магнитов и стальных сердечников (стрешней), благодаря которым возникают магнитные поля. Стальные стержни располагаются непосредственно в «рельсах» для маглева на расстоянии друг от друга 1 см. Статор (часть электродвигателя) приходит в движение, благодаря переменному току определенной частоты. Комбинация между редкоземельным магнитом и стальным сердечником позволяет генерировать особенно сильные магнитные поля достаточной силы. Данная система саморегулирующаяся, аналогично двум последним приведённым способам.

Важно отметить, что данный метод не был еще реализован, но его достоверность была доказана теоретически.

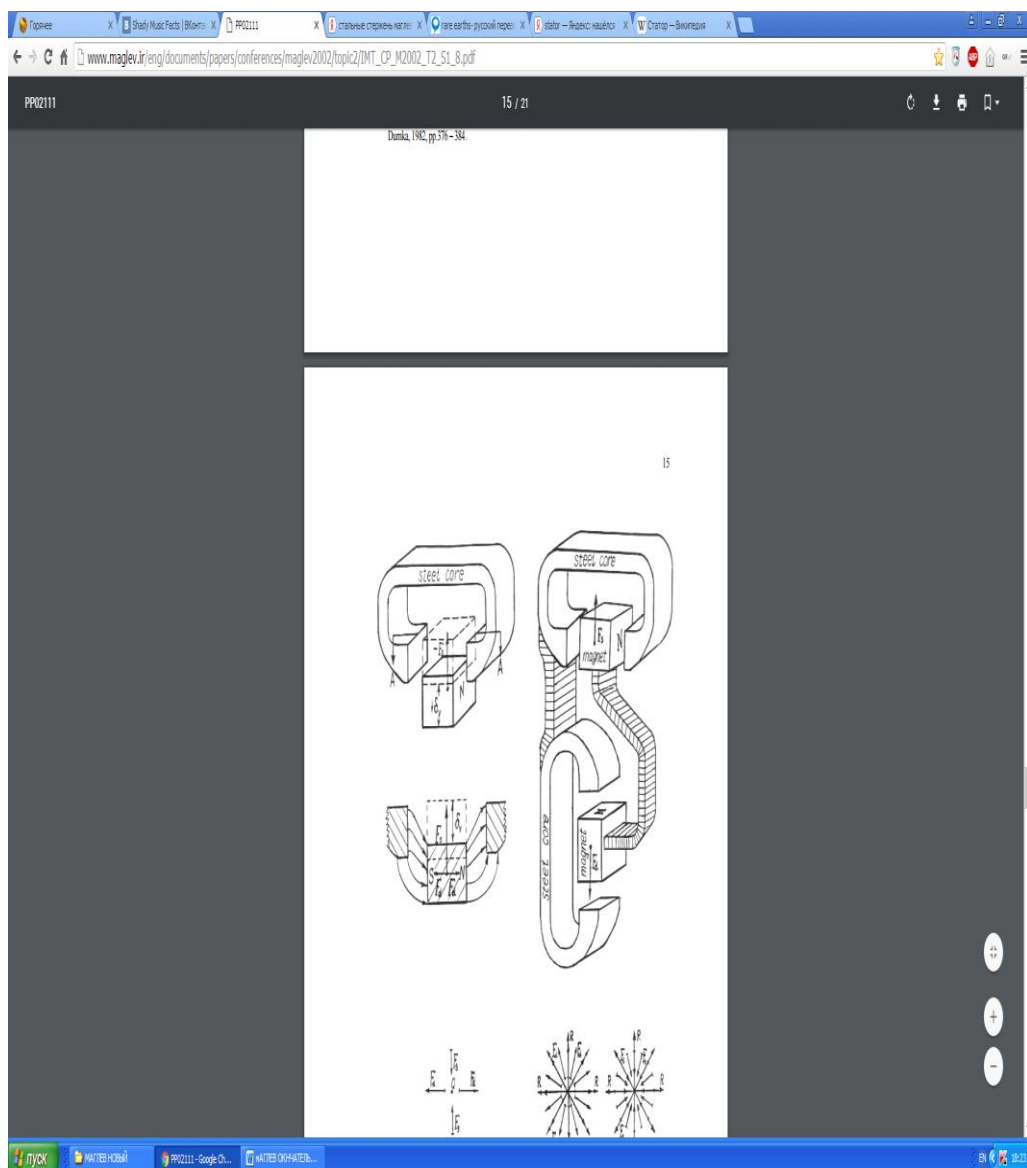


Рис. 10 Изображение, демонстрирующее конструкцию «рельс».

Заключение.

Рассмотрев вышеуказанные методы, хотелось бы предложить некоторые способы модернизации технологии транспорта на магнитной подушке, одним из которых является метод ускорения маглева при помощи пушки Гаусса.

Принцип работы пушки Гаусса.

Пушка Гаусса – это одна из разновидностей ускорителя масс. В конструкции пушки Гаусса используется соленоид, т.е. разновидность катушки индуктивности. Внутри соленоида находится диэлектрический ствол. «Выстрел» из пушки происходит благодаря силе магнитного поля при протекании электрического тока через соленоид, выталкивающий тело, которое обычно состоит из ферромагнетика. Распространенность использования именно ферромагнетиков связана с особым свойством, присущего им – намагниченность ферромагнетиков легко меняется под действием внешних воздействий.



Рис. 11 Опыт, демонстрирующий работу катушки индуктивности в Королевском Институте в Лондоне.

Маглев будет подниматься в воздух аналогично способу Сверхпроводников (Electrodynamic). Главным образом это объясняется следующими причинами:

- Метод Электромагнитов (Electromagnetic) довольно неустойчив и менее безопасен, т.к. как уже было сказано ранее, требует постоянного контроля;
- Метод Постоянных магнитов (Inductrack) также предполагает оснащения путей катушек индуктивности, однако в других целях. Тем не менее, чтобы не привести к конфликту двух катушек индуктивности, мы исключим данный метод.

Ускорение поезду и его торможению будут придавать пушки Гаусса, установленные в начале пути, и на всем пути с определенным интервалом.

Маглев будет сделан из ферромагнетика, тем самым проходя через соленоид, маглев будет получать значительное ускорение. Торможение поезда будет осуществляться посредством изменения направления тока в соленоиде противоположно направлению движения, т.е. возникнет «отрицательное» ускорение. К первой пушке Гаусса, у старта, маглев будет приближаться на выдвижных колесах аналогично уже построенному японскому маглеву близ г. Яманаси.

В качестве проводника традиционно используют медь. В качестве сердечника, возможно, использовать ферромагнетик. В процессе работы над совершенствованием собственного варианта реализации технологии маглева, мы столкнулись с определенной трудностью. Снаряд, роль которого играет маглев, после прохождения середины расстояния соленоида начинает двигаться с отрицательным ускорением. Данный парадокс возникает главным образом, потому что маглев и пушка Гаусса имеют одинаковую полярность.

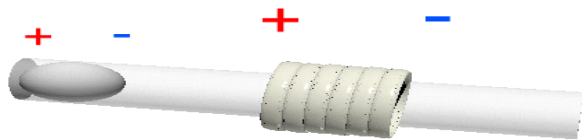


Рис. 12 Схематическое изображение пушки Гаусса (1)

Это значит, что преодолев полпути, отталкиваясь от одинакового полюса, маглеву будет легче отталкиваться от другого полюса, что приведет к торможению. Здесь возможно несколько решений. Одно из них: отключение пушки Гаусса от питания в момент прохождения снарядом половины пути. Кроме того можно использовать конденсатор такой мощности, чтобы он мог разрядиться к моменту прохождения середины пушки Гаусса.

Наше решение заключается в дополнительной обмотке соленоидом, т.е. конструирование дополнительных пушек Гаусса поверх предыдущей. Начало последующей пушки Гаусса будет в середине предыдущей пушечной установки. Обязательно должно выполняться условие: сила магнитного поля последующей пушки должна быть сильнее предыдущей.

Данный фактор позволяет:

- преодолеть замедленное движение;
- позволяет создать условия «постепенного» и «мягкого» ускорения.



Рис. 13 Схематическое изображение пушки Гаусса (2)

Определение времени момента включения пушки Гаусса возможно благодаря датчикам, расположенным на корпусе маглева и в зоне «тоннеля».

Для теоретического расчёта энергии, которой необходимо запастись в конденсаторе, воспользуемся следующими формулами:

$E = CU^2/2$ или $E = q^2/2C$ - энергия, запасаемая в конденсаторе, где C – емкость конденсатора. (1)

$E_k = mv^2/2$ - кинетическая энергия маглева. (2)

Учитывая, что КПД пушки Гаусса $\leq 27\%$, то справедлива следующая запись:

Разделим (2) на (1), получим КПД:

$$\text{КПД} = mv^2 / CU^2 = 0,27 \quad (3)$$

Важно указать, что не существует универсальной формулы нахождения емкости конденсатора, существуют лишь отдельные формулы для отдельных форм конденсатора.

В нашем случае логичнее было бы использовать конденсатор плоской формы, формула вычисления емкости которого:

$C = \epsilon \epsilon_0 S/d$, где ϵ_0 – электрическая постоянная, $\approx 8,8542 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} \cdot \text{м}^{-1}$;

d – расстояние между 2 пластинами,

S – площадь конденсатора,

ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость (табличное значение).

Подставив в формулу (3), получим следующее:

$$0,27 = mv^2 d / \epsilon \epsilon_0 S U^2$$

Отсюда (3) найдем скорость.

$$v = \sqrt{0,27 \varepsilon \varepsilon_0 SU^2/md} . \quad (4)$$

В ходе расчета нельзя не отметить, что если маглев будет использоваться не только в качестве грузового, но и пассажирского транспорта, то необходимо принять ускорение $a < g$ (ускорение свободного падения $\approx 10 \text{ м/с}^2$), чтобы человеческий организм мог выдержать перегрузку.

Примем $a = 0,5g = 0,5 \text{ м/с}^2$, тогда возможно рассчитать время и путь, необходимые для достижения необходимой скорости при проходе через первую катушку, т.е. $v_{\text{начальное}} = 0 \text{ м/с}$.

$$a = v/t$$

$$v = at, \text{ или } v = 0,5gt, \text{ подставим в (4)}$$

$$t = \sqrt{0,27 \varepsilon \varepsilon_0 SU^2/0,5mdg}$$

Аналогично рассчитаем путь, необходимый для достижения скорости.

$$S = v^2/2a = v^2/g$$

$$V = \sqrt{Sg}, \text{ подставим в (4)}$$

$$\sqrt{Sg} = \sqrt{0,27 \varepsilon \varepsilon_0 SU^2/md}$$

$$Sg = 0,27 \varepsilon \varepsilon_0 SU^2/md$$

$$S = 0,27 \varepsilon \varepsilon_0 SU^2/mdg$$

Следует отметить, что при проведении аналогичных расчетов, в момент прохода через последующие катушки необходимо учитывать и скорость до прохода через нее, т.к. $v \neq 0$.

Применение и перспективы в России.

Мы предлагаем построить железнодорожную систему маглев на маршруте Санкт-Петербург – Казань. На данный момент время, затраченное на путь, равно 22 часам. Расстояние из Санкт-Петербурга до Казани (согласно Яндекс. Карты), учитывая обход Рыбинского водохранилища, равно 1260 км. Если принять скорость $v = 400$ км/ч, то время пути составляет $t = 1260 / 400 = 3,15$ ч. Следует учитывать, что значение вышеприведенной скорости использовано согласно планам РЖД, по планам которого высокоскоростной поезд на территории РФ будет развивать скорость до 400 км/ч.

Перспектива строительства и реализации технологии маглев в России актуальна на сегодняшний день. К примеру, ОАО «РЖД» уже с 2011 года является инициатором и координатором технологической платформы «Высокоскоростной интеллектуальный железнодорожный транспорт», задачей которого как раз является поддержка создания и внедрения технологии маглев на территории РФ.

Таким образом, в 2015 году планировались изготовления и презентации модели «транспортной системы на магнитном подвесе с минимальной начальной скорости левитации».



Рис. 14 Расстояние согласно Яндекс. Карты

Строительство данной линии обеспечит развитие двух развивающихся регионов.

Важность.

В завершении хотелось бы подчеркнуть важность и актуальность внедрения технологии магнитной левитации в повседневность. Как было указано в примере, поезд на магнитной подушке заметно уменьшает время в пути, главным образом благодаря высокой скорости движения. Быстрое сообщение между городами не может не сказываться положительно – это увеличит такие показатели, как степень глобализации, туристические и торговые связи. Нельзя умолчать, что соединив магнитной дорогой два близко расположенных населённых пункта, быстрыми темпами возникнет мощная и устойчивая к изменениям агломерация. Среди перспективных пар: Москва - Санкт-Петербург, Москва-Тверь. Санкт-Петербург-Тверь,

Екатеринбург-Тюмень. Такие «союзы» принесут огромную пользу экономическому развитию.

Кроме вышесказанного, следует отметить, что предложенный нами способ подойдет для строительства не только, как путь, соединяющий 2 населенных пункта, но и как внутригородской транспорт, так как с помощью ускорителей на пушке Гаусса легче контролировать и регулировать скорость данного транспорта. Создание такой общественной городской транспортной системы обеспечит снижение загруженности дороги.

Список использованных источников и литературы:

1. А. В. Перышкин «Физика 8 класс»
2. А.В. Перышкин «Физика 9 класс»
3. В.П.Дронов, В.Я. Ром «География России»
4. <http://nasos-pump.ru/elektrodvigateli-peremennogo-toka-2/>
5. <http://www.berliner-verkehrsseiten.de/m-bahn/Geschichte/geschichte.html>
6. <http://transphoto.ru/articles/3653/>
7. <http://itc.ua/articles/poezda-na-magnitnoy-podushke-transport-sposobnyiy-izmenit-mir/>
8. <http://ninpope-physics.comuv.com/maglev/howitworks.php>
9. <http://download04.atrexz.ru/%D0%BB%D0%B5%D0%B2%D0%B8%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD/>
10. <https://str.llnl.gov/str/Post.html>