

Муниципальное автономное общеобразовательное учреждение
«Средняя общеобразовательная школа №135»
С углубленным изучением предметов образовательной области
«Технология»

Исследовательско-творческий проект «Модель шагового двигателя на магнитном подвесе»

Работу выполнил:
Учащийся 11 класса
Петров Иван Дмитриевич

Руководитель:
Ершов Михаил Георгиевич
Учитель физики и черчения
Тел.: 8-922-301-65-44

Пермь,
2016 год.





Оглавление.

❖ Введение.....	3
❖ 1.Теоретическое обоснование проекта.....	4
❖ 2.Разработка конструкции модели.....	6
❖ 3.Спецификация деталей изделия.....	8
❖ 4.Технология изготовления.....	9
❖ 5.Техника безопасности.....	14
❖ 6.Экономическое обоснование.....	15
❖ 7.Оценка изделия.....	16
❖ 8.Модернизация модели.....	17
❖ 9.Испытание модернизированной конструкции.....	20
❖ Заключение.....	21
❖ Список использованных источников.....	22
❖ Приложение 1.....	23
❖ Приложение 2.....	34

Приложение 3.....

Введение

Данный проект получил возможность быть реализованным благодаря мероприятию «Ярмарка реальных задач», проводимому в нашем городе. Суть этой ярмарки заключается в том, что представители бизнеса и производства дают школьникам реальные задачи, которые последние имеют возможность реализовать. Передо мной стояла задача изготовить экспонат с демонстрацией физического явления для пермского детского музея «Парк Научных Развлечений» (далее - Заказчик).

Этот проект не только решает задачи, выдвинутые Заказчиком, но и открывает огромные просторы для школьной исследовательской деятельности и возможной модернизации конструкции.

Мотивом разработки и изготовления изделия стало желание погрузиться в инженерно-конструкторскую деятельность с упором на физическое явление. Это помогло бы мне лучше закрепить материал уроков физики, черчения, информатики и технологии.

По требованиям Заказчика, изделие должно соответствовать параметрам:

- Интерактивность.
- Антивандальность.
- Наличие «ВАУ» – эффекта.

Требования Заказчика является и проблемой: создание изделия, демонстрирующего какое-либо физическое явление и соответствующие вышеперечисленным требованиям Заказчика.

Цель: выбор физического явления, проектирование, изготовление и испытание изделия.

Задачи:

- Проанализировать доступные источники информации.
- Спроектировать изделие.
- Изготовить изделие.
- Добиться соответствия изделия предъявленным требованиям.
- Испытать изделие.
- Передать изделие Заказчику.

1. Теоретическое обоснование проекта

После посещения экспозиции музея, просмотрев представленные экспонаты, я принял решение изготовить нечто крайне удивительное и занимательное. Просмотрев несколько статей о физических явлениях в интернете и посоветовавшись с руководителем, я остановился на так называемом явлении «магнитной левитации».

- **Магнитная левитация** — технология, метод подъёма объекта с помощью одного только магнитного поля. Магнитное давление используется для компенсации ускорения свободного падения или любых других ускорений.
- В некоторых случаях подъёмная сила обеспечивается магнитной левитацией, но при этом есть механическая поддержка, дающая устойчивость. В этих случаях явление называется **псевдолевитация**.

Магнитная левитация - это способ транспортировки, который подвешивает, направляет и приводит в движение транспорт, в основном поезда, используя магнитную левитацию. Данный способ быстрее и тише, чем в случае использования колеса.

Максимальная скорость поезда на «магнитной подушке» была зафиксирована в Японии в 2003 и составила 581 км/ч, что на 6 км/ч быстрее, чем рекорд колесных поездов.

Так же, принцип магнитной левитации используется в так называемом «магнитном подшипнике», который нашел свое применение в промышленных миксерах и комбайнах, принтерах и газоперегонных турбинах, где развивается частота вращения около 3000 об/мин. Преимущества магнитных подшипников включают очень низкое и предсказуемое трение, возможность работы без смазки и в вакууме. Они всё чаще используются в промышленных механизмах, таких, как компрессоры, турбины, насосы, моторы и генераторы. Магнитные подшипники используются при генерации электроэнергии, в переработке нефти, в работе станков и при передаче



природного газа. Также они используются в газовых центрифугах, для обогащения урана и в турбомолекулярных насосах, где механические подшипники со смазкой были бы источником нежелательного загрязнения.

Рассмотрим преимущества и недостатки магнитного подшипника:

Преимущества

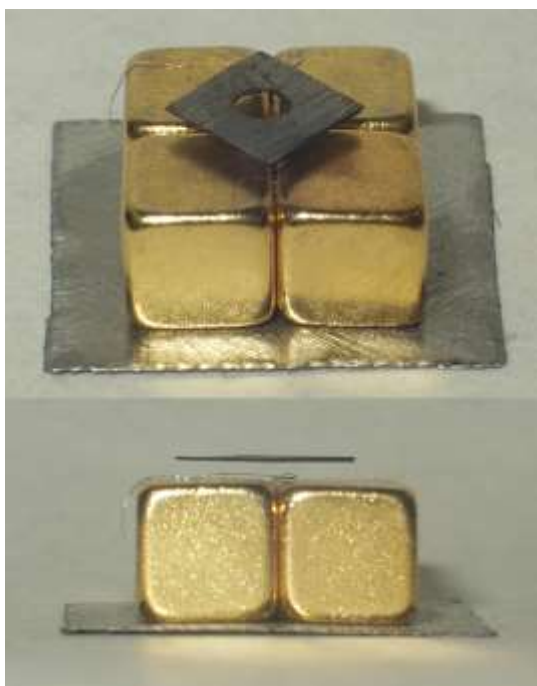


Основным преимуществом этих подшипников является отсутствие контакта и вытекающие отсюда:

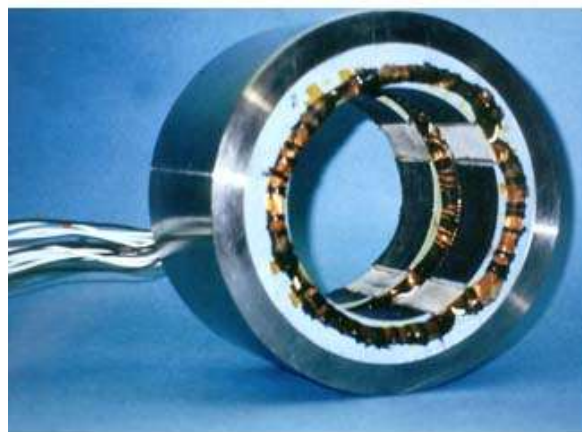
- Высокая износостойкость;
- Возможность использования подшипника в агрессивных средах, при высоких или низких температурах (Луна, Марс).

Недостатки

- В случае исчезновения магнитного поля, что может быть катастрофическим для целой механической системы, нужно обеспечить страховочные подшипники. Обычно это подшипники качения, которые в этом случае могут выдерживать один или два отказа магнитных подшипников, после чего их необходимо заменить.
- Вследствие того, что магнитное притяжение включает в себя определенную неустойчивость, используют довольно сложные и громоздкие системы управления, которые затрудняют ремонт и эксплуатацию подшипника.
- Нагревание. Обмотка подшипника нагревается вследствие прохождения через нее тока. Иногда это нежелательно, поэтому устанавливаются дополнительные системы охлаждения.



$$P_{mag} = \frac{B^2}{2\mu_0}$$



Таким образом, моделирование такого явления позволит создать интересный экспонат с достаточно небольшими затратами на производство и простой технологией изготовления.

2.Разработка конструкции модели

Отталкиваясь от описания явления, я разработал три предполагаемых варианта изделия.

Оценив сложность выполнения работ и практичность каждого вида, я остановился на последнем варианте.

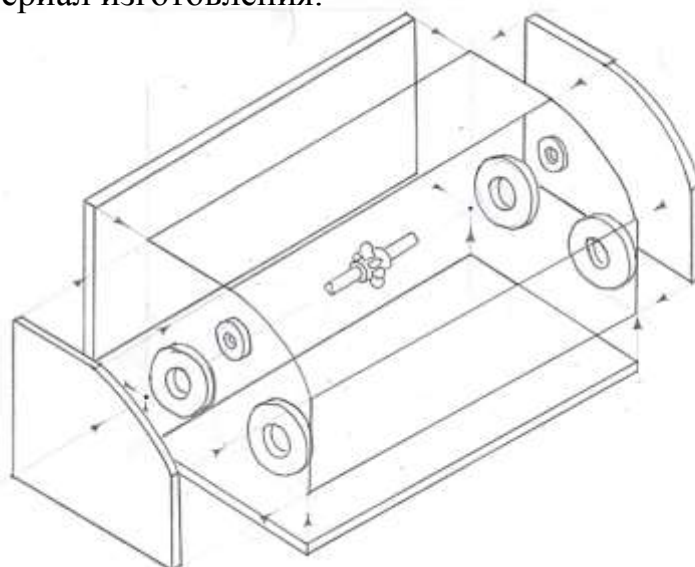
Так же мне пришлось рассматривать разные виды такого материала, как оргстекло, так как раньше я с ним не работал и не знал его свойств. Из многообразия видов этого материала, я выбрал прозрачное высокополимеризованное оргстекло толщиной 1.5мм, так как ему будет проще придать нужную форму, чем оргстеклу с обычной полимеризацией.

Суть модели заключается в демонстрации явления «псевдолевитации», где постоянные магниты основы будут отталкивать постоянные магниты вала. При этом вал будет иметь две точки опоры на стенках.

За основу модели был взят стенд из школьной физической лаборатории.



Поскольку данный стенд был изготовлен из подручных материалов, ни о каких готовых чертежах речь, разумеется, не идет. Для разработки чертежей было взято расстояние между магнитами, обусловленное компенсацией силой магнитного отталкивания ускорения свободного падения. Эту величину можно считать неизменной (при условии незначительного увеличения массы «левитирующего» вала). После измерения межосевых расстояний между магнитами и диаметров последних, были составлены чертежи будущей конструкции (Приложение 1). Теперь определим перечень деталей установки, их количество и материал изготовления.



3.Спецификация деталей изделия

№	Наименование	Кол-во	Материал
1	Боковая стенка	2	ДСП 12 мм
2	Задняя стенка	1	ДСП 12 мм
3	Основание	1	ДСП 12 мм
4	Сердечник магнита	4	Берёза
5	Прижим	2	Пластик
6	Шайба	12	Сталь Ст3 + белый цинк
7	Болт М5х50	4	Сталь Ст3 + белый цинк
8	Оргстекло	1	Оргстекло 2мм
9	Вал	1	Алюминиевая трубка
10	Втулки для м. магнитов	2	ПВХ труба ø45
11	Лопасты от компьютерного кулера	2	Пластик
12	Втулка для лопастей	2	ПВХ труба ø45
13	Саморезы крепежные	30	Сталь У8
14	Магниты большие	4	Магнитный сплав
15	Магниты маленький	2	Магнитный сплав

На основании чертежей составлена технология изготовления модели.

4.Технология изготовления

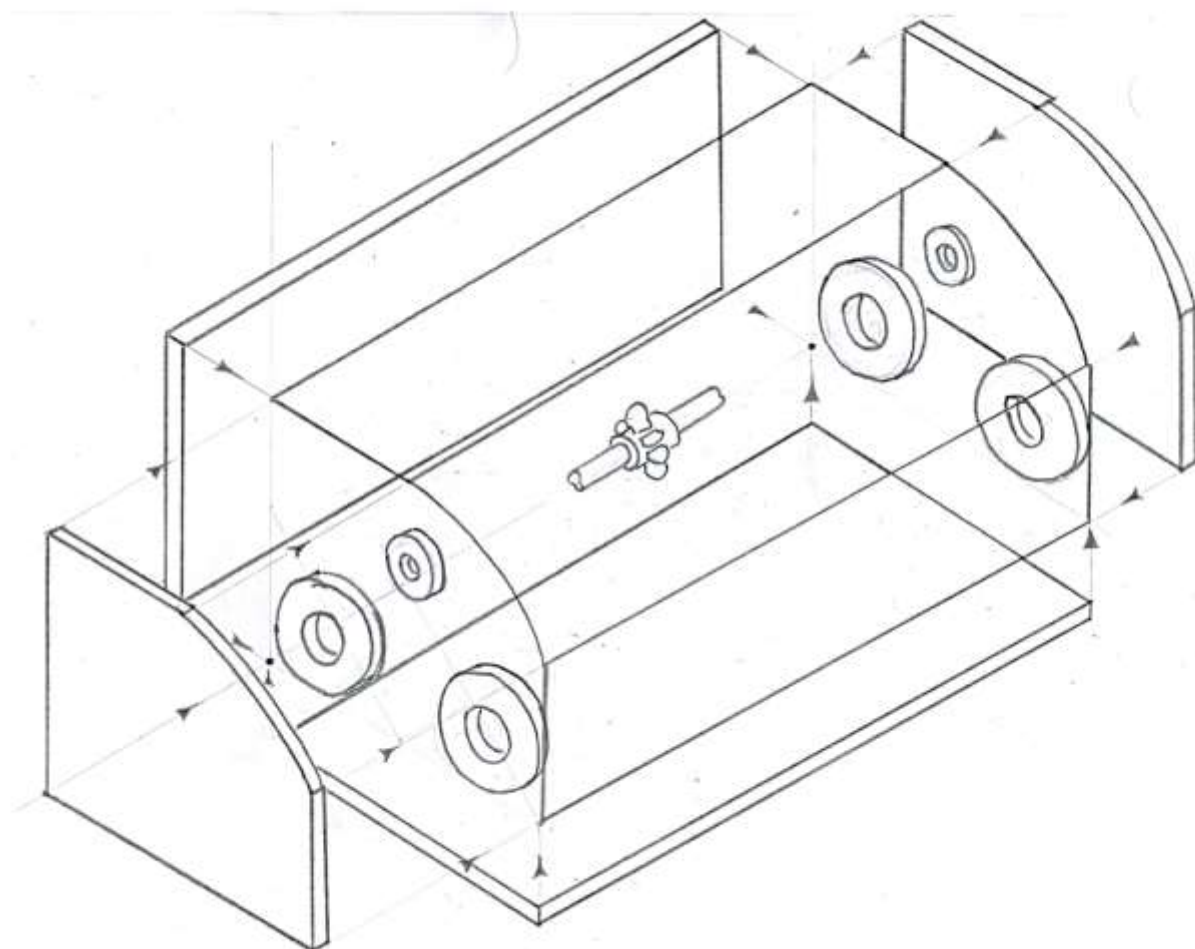
Инструкционная карта на изготовление.

№ Д	№ п/п	Описание операции	Оборудование и инструменты
1	1	Выбрать заготовку с учетом припусков на обработку (320х325х12) и обработать базовые кромку и торец.	Линейка, наждачная колодка.
	2	Разметить деталь согласно чертежа от базовых кромки и торца. Разметить центры отверстий.	Линейка, угольник, карандаш, шило.
	3	Обработать заготовку согласно разметки.	Напильник, наждачная колодка.
	4	Разметить и просверлить отверстия.	Шило, электродрель, сверло $\varnothing 5$, $\varnothing 2$.
	5	Проконтролировать размеры, отшлифовать.	Линейка, ШЦ-1, шлифовальная шкурка.
2	6	Выбрать заготовку с учетом припусков на обработку (435х320х12) и обработать базовые кромку и торец.	Линейка, наждачная колодка
	7	Разметить деталь согласно чертежа от базовых кромки и торца. Разметить центры отверстий.	Линейка, угольник, карандаш, шило.
	8	Обработать заготовку согласно разметки. Просверлить отверстия.	Напильник, наждачная колодка. Шило, электродрель, сверло $\varnothing 2$.
	9	Проконтролировать размеры, отшлифовать.	Линейка, шлифовальная шкурка.
3	10	Выбрать заготовку с учетом припусков на обработку (435х310х12) и обработать базовые кромку и торец	Линейка, наждачная колодка
	11	Разметить деталь согласно чертежа от базовых кромки и торца. Разметить центры отверстий.	Линейка, угольник, карандаш, шило.
	12	Обработать заготовку согласно разметки.	Напильник, наждачная колодка. Шило,

		Просверлить отверстия.	электродрель, сверло $\varnothing 2$.
	13	Проконтролировать размеры, отшлифовать.	Линейка, шлифовальная шкурка.
	14	Выбрать цилиндрическую заготовку с учетом припусков на обработку и закрепление в станке ($\varnothing 60 \times 200$).	ШЦ-1, линейка
	15	Разметить и обработать торцы заготовки для закрепления в СТД-120м.	Карандаш, линейка, ножовка, шило
	16	Обработать заготовку в станке.	СТД-120м, карандаш, линейка, рейер, мейсель, шлифовальная шкурка.
	17	Снять заготовку со станка.	СТД-120м.
	18	Обработать заготовку согласно разметки, выровнять кромки и торцы.	Ножовка, напильник, шлифовальная шкурка.
	19	Проконтролировать размеры.	ШЦ-1.
5	20	Выбрать заготовку с учетом припусков на обработку ($245 \times 75 \times 5$) и обработать базовые кромку и торец.	Линейка, наждачная колодка.
	21	Разметить деталь согласно чертежа. Разметить центры отверстий.	Линейка, угольник, карандаш, шило.
	22	Обработать заготовку согласно разметки. Просверлить отверстия.	Напильник, наждачная колодка, электродрель, сверло $\varnothing 5$.
	23	Проконтролировать размеры, отшлифовать и покрасить.	ШЦ-1, линейка, аэрозольная краска (оранжевая).
8	24	Выбрать заготовку с учетом припусков на обработку ($570 \times 435 \times 2$) и обработать базовые кромку и торец.	Линейка, наждачная колодка.
	25	Разметить деталь согласно чертежа. Разметить центры отверстий.	Линейка, угольник, карандаш, шило.
	26	Обработать заготовку согласно разметки. Просверлить отверстия.	Наждачная колодка, электродрель, сверло $\varnothing 1$.
	27	Проконтролировать размеры.	Линейка.
9	28	Выбрать цилиндрическую заготовку с учетом	ШЦ-1, линейка.

		припусков на обработку (ø16x455).	
	29	Зажать заготовку в тисках и отпилить торец. заготовки	Верстачный зажим, ножовка по металлу.
	30	Проконтролировать размеры и отшлифовать.	Линейка, шлифовальная шкурка.
10	31	Выбрать цилиндрическую заготовку с учетом припусков на обработку и закрепление в станке (ø45x150).	Линейка, ШЦ-1.
	32	Закрепить заготовку в станке.	ТВ-6.
	33	Обработать заготовку в станке согласно чертежа и разметки.	ТВ-6, линейка, резец проходной, резец расточной, резец отрезной.
	34	Проконтролировать размеры и отшлифовать.	Линейка, шлифовальная шкурка.
11	35	Выбрать заготовку с учетом размеров детали №9.	Линейка, блок питания компьютера.
	36	Разметить центр отверстия и просверлить.	Шило, электродрель, сверло ø3.
	37	Выпилить внутренний диаметр заготовки и обработать кромку.	Лобзик, напильник.
	38	Проконтролировать размеры и отшлифовать.	ШЦ-1, шлифовальная шкурка.
12	39	Выбрать цилиндрическую заготовку с учетом припусков на обработку и закрепление в станке (ø45x150).	Линейка, ШЦ-1.
	40	Закрепить заготовку в станке.	ТВ-6.
	41	Обработать заготовку в станке согласно чертежа и разметки.	ТВ-6, линейка, резец проходной, резец расточной, резец отрезной.
	42	Проконтролировать размеры и отшлифовать.	Линейка, шлифовальная шкурка.
	43	Собрать детали №1, №2 и №3 в конструкцию 1.	Саморезы, шуруповёрт.

44	Прошпаклевать швы и торцы конструкции 1.	Шпатель, шпаклёвка по дереву «Ясень».
45	Отшлифовать конструкцию 1, покрасить.	Шлифовальная шкурка, аэрозольная краска (синий, оранжевый).
46	Соединить конструкцию 1 с деталями №4, №5 и №14.	Болт М5х50, шайба ø5, гайка М5, гаечный ключ под размер болта и гайки.
47	Соединить детали №9, №10, №11, №12 и №15 в конструкцию 2.	
48	Опустить конструкцию 2 в конструкцию 1.	
49	Прикрепить деталь №8 к конструкции 1.	Шуруповёрт, саморезы.



Общий вид изделия после сборки:



5. Техника безопасности при изготовлении изделия

1. По окончании работы стружку смести щеткой, а инструмент убрать на соответствующие места.
2. При пилении линия разметки должна оставаться на заготовке.
3. При обработке заготовку необходимо надежно и прочно закреплять в верстаке.
4. Использовать лак, краску нужно в хорошо проветриваемом помещении.
5. Нельзя проверять остроту инструмента пальцами.
6. Резать инструментом нужно строго от себя, в верстаке, а не на весу или на коленях.
7. Нельзя останавливать сверло в сверлильном станке руками.
8. Запрещается оставлять работающий станок без присмотра.
9. Начинать сверление только после того, как двигатель станка наберет полные обороты.
10. Заготовку при сверлении обязательно придерживать рукой в перчатке (или плоскогубцами).
11. Одеваться в униформу: халат, головной убор, перчатки.

6.Экономическое обоснование

Главная цель проекта – создание изделия, в котором могут быть применены отходы производства (ДСП, пластик), что существенно снизит себестоимость. Поэтому, стоимость некоторых конструкционных материалов можно не учитывать, так как они являются отходами производства или пришедшими в негодность деталями из других изделий.

Название материала	Кол-во	Цена	Стоимость
Шайба ø5	12 шт.	2.5 руб.	30.0 руб.
Болт М5х50	4 шт.	3.0 руб.	12.0 руб.
Магниты б.	3 шт.	300 руб.	900 руб.
Магнит б. с ж.о.	1 шт.	350 руб.	350 руб.
Саморезы	30 шт.	1.5 руб.	45 руб.
Оргстекло	1 м ²	462 руб.	462 руб.
Краска аэрозольная	3 баллона	133 руб.	399 руб.
ИТОГО:			2198 руб.

7.Оценка изделия

После изготовления было проведено испытание изделия, по результатам которого были обнаружены и устранены несоответствия с требованиями Заказчика.

Знание технологии работы с конструкционными материалами, соблюдение техники безопасности и хорошая материальная база помогли успешно изготовить проект. Кроме этого, помог курс черчения, пройденный в 8 классе и краткосрочный курс по системе автоматического проектирования Компас – 3D, пройденный в 10 классе.

Положительные стороны:

- Цель достигнута;
- Материалы общедоступные;
- Технология изготовления проста и доступна;
- Технические требования соблюдены;
- Стоимость изделия достаточно низка;
- Отходы производства изделия не нанесли вреда природе.

Вместе с тем, испытание подтолкнуло на расширения функционала конструкции и изготовление нового изделия.

8. Модернизация модели

Проблемой модернизации конструкции является попытка синтеза шагового двигателя с высоким показателем КПД (до 80% при незначительных нагрузках) и принципа «магнитного подшипника» (модернизация). Соединение этих двух перспективных технологий и изучения области их применения в будущем, возможно, откроет новые горизонты в промышленности и двигателестроении.

Цель модернизации: доказать возможность синтеза в одной системе шагового электродвигателя и принципа магнитного подшипника.

Задачи модернизации:

- Проанализировать информационные ресурсы и определить принцип работы шаговых двигателей.
- Провести исследование на предмет выбора наилучших материалов для изготовления шагового двигателя в условиях школьной мастерской.
- Спроектировать, изготовить и испытать шаговый двигатель с ротором на магнитном подвесе, изучив возможности полученной конструкции.

Шаговый электродвигатель – это синхронный бесщёточный электродвигатель, в котором ток, подаваемый в одну из обмоток статора, вызывает фиксацию ротора. Последовательная активация обмоток двигателя вызывает дискретные угловые перемещения (шаги) ротора.

Для определения общего вида будущей модели шагового двигателя, вокруг вала на магнитном подвесе был собран каркас из конструктора «Lego».

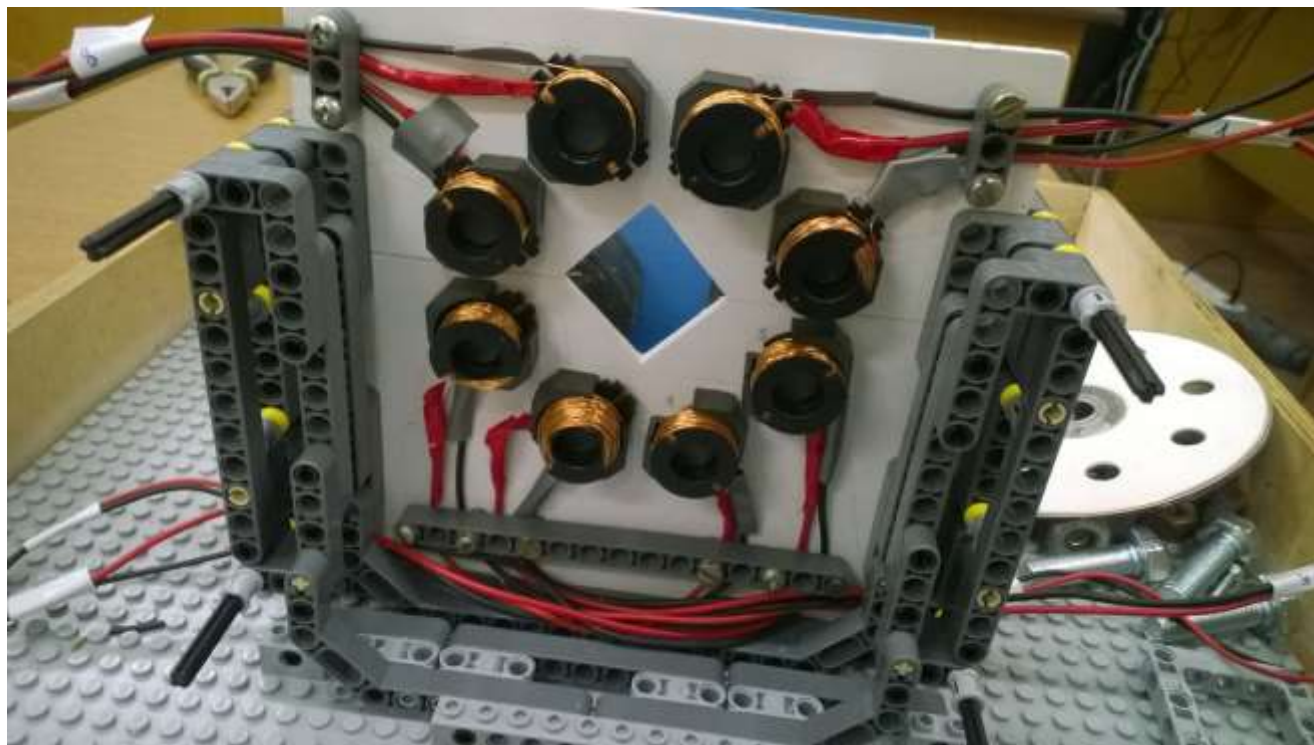
После этого была разработана схема попарного подключения обмоток, состоящая из 4 элементов. Каждый элемент включал в себе блок управления, реле, блок питания, разводящую проводку и две диаметрально противоположные катушки, соединенные с диодом для отсечения ЭДС самоиндукции при выключении (Приложение 3).

На вал (ротор) на магнитном подвесе был закреплен диск с диаметрально наклеенными неодимовыми магнитами.

В качестве основы для обмоток был выбран пластик. В специальные пазы каркаса из конструктора были встроены верхняя и нижняя пластиковые планки, на которые были наклеены согласно разметки ферритовые сердечники (8 шт.). Далее были намотаны 8 катушек с проволокой диаметром 0.38мм под размер сердечников. К каждой катушке были припаяны красный и черный провода для достижения сонаправленности магнитных полей у каждой катушки, вектор

направления магнитной индукции измерялся датчиком магнитного поля «Vernier».

После установки и разводки проводов, лицевая часть катушек была закрыта аналогичными пластиковыми планками для более надежной фиксации.



Далее все элементы электрической схемы (Приложение 4) были подключены и проведен пробный запуск шагового электродвигателя, после которого выяснился ряд недостатков конструкции:

- Ротор двигателя обладал слишком высокой массой и как следствие – высокой инертностью, что не позволяло продемонстрировать шаговый принцип движения на маленькой частоте вращения.
- Пластик оказался непригодным материалом для основы закрепления ферритовых сердечников. Сердечники, нагреваясь, начинали плавить пластиковые планки.
- Силы притяжения между магнитами ротора и магнитным полем некоторых обмоток статора было недостаточно для притяжения и фиксации ротора напротив катушки.

Стало очевидно, что необходимо изменить материал конструкции, увеличить количество обмоток и усилить их взаимодействие с магнитами ротора за счет изменения характеристик катушек (Ø проволоки, увеличение числа витков).

Для увеличения индукции магнитного поля катушек, были рассмотрены следующие варианты обмотки:

Критерий	1 вариант обмотки	2 вариант обмотки	3 вариант обмотки
Ø проволоки	0.38мм	1.0мм	0,25мм
Кол-во мотков	150	80	350
Следующие замеры проводились при параметрах: Сила тока – 0.7А; Напряжение – 10В;			
Индукция магнитного поля без сердечника	2-3mT	1-2mT	3-4mT
Индукция магнитного поля с ферритовым сердечником	4-6mT	4-6mT	7-8mT
Индукция магнитного поля со стальным сердечником	6-7mT	5-6mT	8-8,5mT
Замеры индукции магнитного поля производились датчиком магнитного поля «Vernier».			
Результаты эксперимента и вывод: Наибольшую индукцию магнитного поля показала катушка с проволокой 0,25мм. Для увеличения индукции магнитного поля необходимо использовать более чем 8 обмоток с проволокой 0,25мм.			

В качестве нового материала для основы крепления ферритовых сердечников стал металлопластик, более устойчивый к нагреву и лучше отдающий тепло окружающей среде, что позволило снизить нагревание катушек и ферритовых сердечников.

Количество катушек с 8 было увеличено до 12, что так же позволило уменьшить угловой коэффициент шага с 45 до 30 градусов.

Далее основная конструкция разрабатывалась с учетом нового количества требуемых катушек и размеров ферритовых сердечников. После измерения размеров сердечника и опираясь на межцентровые расстояния новых магнитных узлов подвеса, был составлен второй комплект чертежей (Приложение 2), уже для нового изделия.

9. Испытание модернизированной конструкции

После моделирования, новой конструкции, разработки чертежей, изготовления, сборки и покраски, программирования и наладки, были проведены испытания.

Результаты проведенной работы:

- Цель проекта достигнута.
- Проект подает надежды перспективного, что не может не радовать.
- Дальнейшее изучение области совершенствования и применения проекта крайне обширно. Работа по проекту будет продолжаться, я считаю это однозначным плюсом.
- Технологии и системы, использованные в проекте не являются чем-то фантастическим, однако использование такого инженерного решения скорее всего даст отличные результаты.
- Имея в распоряжении ограниченный технический потенциал школьной мастерской, не удалось смоделировать шаговый принцип вращения. Из-за относительно большой массы, вал обладает высокой инерцией. Набирая скорость при разгоне, появляется инерционная вращательная сила, которая превышает силу взаимодействия магнита и катушки в том числе благодаря тому, что сонаправлена вращательному движению вала.
- Однако, существуют принципы решения проблемы, изложенной в пункте выше. Они заключаются в несколько иной схеме включения катушек, при которой катушка напротив магнита работает на притягивание, а соседние по бокам от нее – на отталкивание. Это позволит скомпенсировать момент импульса, вызванный высокой инертностью.
- Уже на данном этапе своего существования, проект принес пользу. Экспериментальный (пробный) вариант установки занял II место в окружном робототехническом фестивале «РобоФест Урал-Поволжье» в номинации «фристайл». Проект был удостоен чести представлять Пермский край на Всероссийском этапе этого фестиваля.
- Кроме того, предусматривается использование проекта в качестве учебного пособия для учеников старших классов средней школы. В установке наглядно демонстрируются принципы электромагнитной индукции, что значительно поспособствует пониманию этого раздела физики.

Заключение

Результаты испытаний оказались в целом положительными. По всей видимости, ясно представляется возможным синтез электродвигателя и магнитного подшипника. В конструкции осталась неучтенной большая инертность вала, что является единственной недоработкой конструкции.

Перспективы применения такого устройства возможны в химических миксерах в агрессивных средах, в космической отрасли, в высокоточных станках с ЧПУ, в автомобилях, двигателестроении и практически во всех областях промышленности, где требуются двигатели.

Список использованных источников

1. **Единая система конструкторской документации (ЕСКД).** Комплекс Государственных стандартов, определяющих правила и положения по разработке, оформлению и обращению конструкторской документации. Основные положения — ГОСТ 2.001-70...2.034-83.;
2. **Единая система технологической документации (ЕСТД).** Комплекс Государственных стандартов, устанавливающих единые требования к оформлению документов, применяемых при разработке технологических процессов производства машино- и приборостроения. Основные положения — ГОСТ 3.1001-81;
3. Материал из Википедии – свободной энциклопедии. «Магнитная левитация»; [электронный ресурс]
Доступ к источнику: https://ru.wikipedia.org/wiki/Магнитная_левитация;
4. Материал из Википедии – свободной энциклопедии. «Шаговый электродвигатель»; [электронный ресурс]
Доступ к источнику: https://ru.wikipedia.org/wiki/Шаговый_электродвигатель;