

УДК 622

## **РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СИЛОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СИСТЕМАХ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ**

Павлюкевич Д. А., студент гр. ГЭС-191, IV курс  
Захаров А.Ю., д.т.н., профессор  
Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева  
г. Кемерово

### **Введение**

В современном мире люди стремятся к изобретению оборудования, машин агрегатов и так далее, с более высокой производительностью и КПД стремящимся к 1. Повышение КПД означает снижение потерь, таких как трение или на другие собственные нужды механизма. Поэтому одним из видов достижения заданной цели, является использование систем постоянных магнитов. В качестве подтверждения актуальности данного подхода, можно привести пример несколько вариантов их использования.

Постоянные магниты нашли применение в электрической машине, содержащей статор и ротор, расположенный смежно со статором. Ротор содержит сердечник и постоянные магниты, расположенные в контакте с сердечником ротора для модуляции крутящего момента, действующего на ротор. Данное дополнительное электромагнитное поле увеличивает плотность потока магнитного поля в электрической машине и способствует оказанию дополнительного крутящего момента на ротор. [1]. Так же магниты нашли свое применение в системах подвеса транспортных систем. В результате повышается КПД двигателя транспортного средства, повышается его срок службы, увеличивается безопасность использования подвеса [2].

Для их успешного применения магнитных систем необходимо знать параметры силового взаимодействия, которые могут зависеть от большого количества факторов, к примеру: угол взаимного расположения, воздушный зазор, смещение и т.д. Если поведение простых систем магнитов можно спрогнозировать, то для сложных с целью повышения точности измерений стоит создать стендовую модель для исследования и совершенствования элементов магнитной системы.

### **Существующие измерительные стенды на постоянных магнитах**

Существует много видов измерительных стендов. Например, разработан стенд и предложена методика идентификации опытной партии высококо-

эрцитивных постоянных магнитов. Он позволил надежно идентифицировать с достаточной точностью постоянные магниты и обеспечил отбраковку не прошедших испытаний ВкПМ из опытных партий и исключил их использование в изделиях, тем самым повысив их надежность в дальнейшем [3].

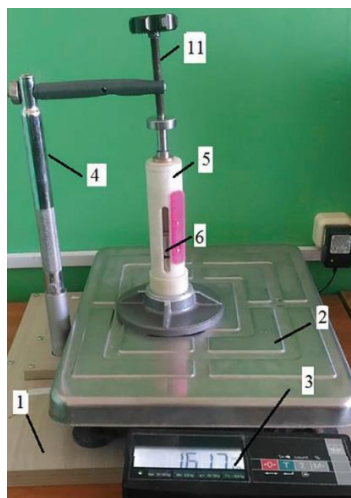


Рис. 1. Испытательный стенд. [3]

Другой пример, это стенд для испытания транспортных устройств с подвеской на постоянных магнитах. Такой стенд расширяет диапазон исследований. За счет того, что в стенде магнитные рельсы состоят из пакетов магнитов, которые установлены с возможностью перемещения в горизонтальных плоскостях [4].

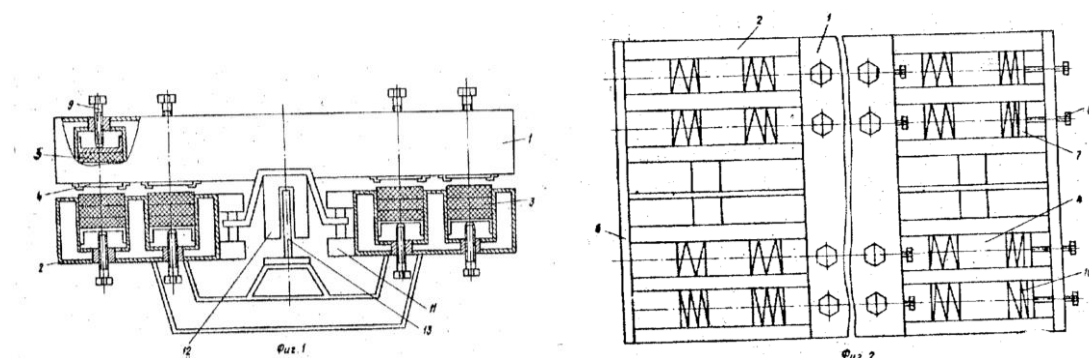


Рис. 2. Стенд для испытания транспортных устройств с подвеской на постоянных магнитах: 1 - несущая платформа; 2 - путевое полотно; 3 - рельсы; 4 - пакеты; 5 - магнит; 6 - неподвижная опора; 7 - подвижная опора; 8 - винт; 9 - винтовая опора; 10 - упругий элемент; 11 - стабилизаторы; 12 - статор линейного двигателя; 13 - ротор линейного двигателя [4]

При создании конвейера с магнитной левитацией, используя электромагнитные силы между сверхпроводниками и постоянными магнитами, был разработан стенд, который помог с изучением этих сил. Результатом этих исследований были новая технология сверхпроводящей левитации и линейная конвейерная система с магнитной левитацией, использующая гибридную намагниченность [5].

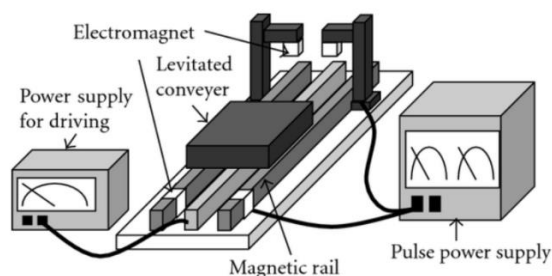


Рис. 3. Система: Electromagnet (Электромагнит), Levitated conveyer (Левитируемый конвейер), Magnetic rail (Магнитный рельс), Pulse power supply (Импульсный источник питания), Power supply for driving (Источник питания для привода) [5]

Так же разработано испытательное устройство ленточного конвейера с низким сопротивлением на постоянных магнитах с приложением к нему различных наборов нагрузок и проведением экспериментальных исследований опорной системы с постоянными магнитами при различной величине воздушного зазора для получения распределения давления на ленте магнитного конвейера. Полученные результаты дали теоретические рекомендации для дальнейших исследований ленточного конвейера с низким сопротивлением на постоянных магнитах [6].

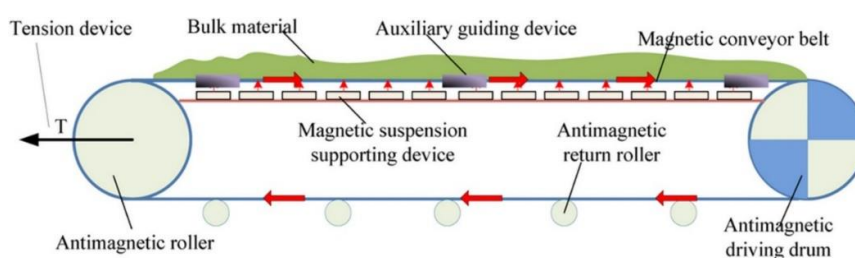


Рис. 4. Sketch of magnetic cushion belt conveyor (Эскиз ленточного конвейера на магнитной подушке) [6]

Из представленных выше примеров становится ясно, что для исследования магнитных систем, создание стенда является важной частью этого процесса. Ведь стенд не только покажет поведение магнитной системы, он даст возможности для ее доработок. Поэтому для нашего исследования мы решили создать стенд, целью которого является исследование силового взаимодействия в системах постоянных магнитов.

### **Выбор силовой измерительной структуры для измерения сил касательного взаимодействия постоянных магнитов с плоскими формами**

Перед созданием стенда мы проанализировали существующие методы измерения силы. Для начала дадим определение силе. Сила - физическая векторная величина, являющаяся мерой воздействия на данное тело со стороны других тел или полей. Приложение силы обуславливает изменение скорости тела или появление деформаций и механических напряжений.

Изначально для измерения силы сдвижения магнитов решили использовать динамометр. Динамометр - прибор для измерения силы или момента силы, состоит из силового звена (упругого элемента) и отсчетного устройства. Но пришлось отказаться от этой идеи, по следующим причинам:

- при большом диапазоне измерений, он не обладал требуемой точностью;
- в конструкции прибора присутствовали металлические элементы, которые могли бы повлиять на результаты исследований;
- со временем пружина, может деформироваться и потребуются тарирование прибора. Тарирование — нанесение шкалы соответствия между определенным показанием прибора (например, положением стрелки) и значением измеряемой величины.

В итоге было принято решение использовать тензодатчики (тензорезисторы). К преимуществам тензодатчиков следует отнести малый вес и размеры, простоту конструкции и крепления датчиков к изделиям, способность измерять статические и динамические деформации. К недостаткам следует отнести влияние на сопротивление датчиков температуры. При работе в условиях высоких температур и агрессивной среды требуют специальных мер защиты.

### Разработка стенда

1. Этап - разработка основного каркаса стенда (рис. 7). Он представляет собой несущую конструкцию, собранную из деревянных брусков  $30 \times 20$ , где 4 вертикально расположенных бруска имеют длину 240 мм, 4 горизонтально расположенных бруска имеют два типа размеров 220 мм и 160 мм и два бруска  $20 \times 8$  длиной 280 мм направляющие для магнита  $120 \times 80$ .

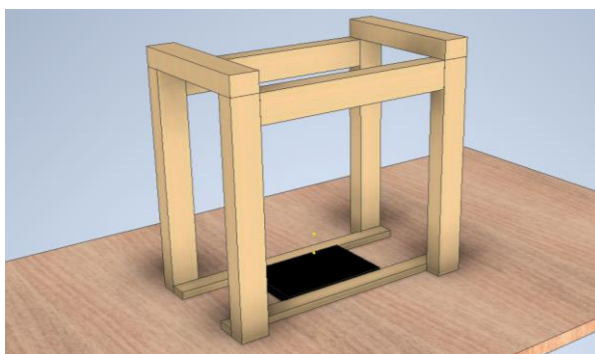


Рис. 7. Основной каркас стенда

2. Этап. Сборка подвеса. Подвес  $160 \times 116 \times 15$  подвешен нерастяжимой нитью к 4 болтам с поперечным отверстием на конце для крепления нити. Болты вставлены в отверстия диаметром 5 мм деревянной крышки  $220 \times 160 \times 20$ . Отверстия просверлены с отступом от размера подвеса по 5 мм. В подвесе сделаны 4 отверстия диаметром 1 мм, для крепления нити. В крышку вставлено по 4 болта и гайки размером М5, которые позволяют регулировать величину воздушного зазора (рис. 8).

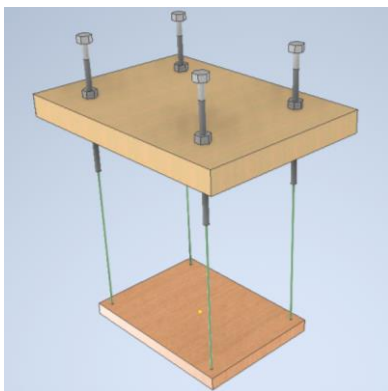


Рис. 8. Подвес

3. Этап. Соединение подвеса и каркаса (рис.9 (1)). Соединение подвеса и каркаса выполнено с помощью двух саморезов.

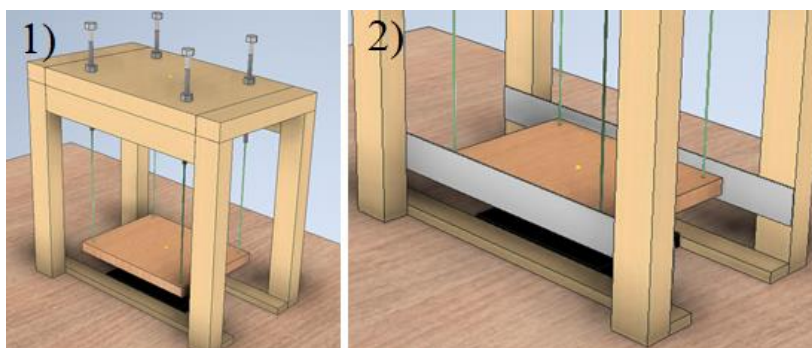


Рис. 9. Стенд: 1) Соединение подвеса и каркаса; 2) Боковые направляющие

4. Этап. Крепление боковых направляющих. Параллельно подвесу к каркасу прикреплены две пластиковые направляющие (рис. 9(2)). Крепление производится на двухсторонний скотч с целью быстрого перемонтажа.

5. Этап. Установка грузов (рис. 10). Для соблюдения постоянного воздушного зазора между магнитами было принято решение на подвес добавить груз. Груз представляет собой 3 свинцовых пластины по 850 гр. Между подвесом и магнитом расположены 3 бруска размером  $10 \times 10$ , прикрепленные к подвесу суперклеем. Центральный брусок осуществляет давление на тензодатчик, а два других для равновесия груза.

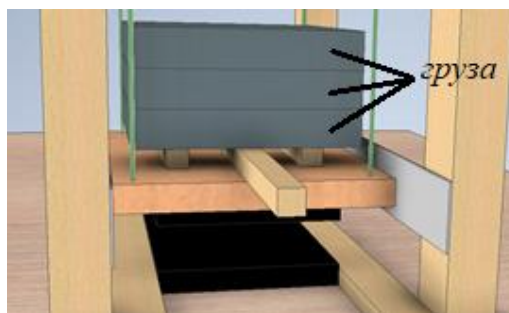


Рис. 10. Расположение грузов



6. Этап. Установка тензодатчика. Тензодатчик закреплен на деревянной доске двумя болтами. С другой стороны для устойчивости прикреплены на саморезы два уголка. Закрепленный на доске тензодатчик установлен таким образом, чтобы центральный брусок подвеса касался платформы, прикрепленной к тензодатчику (рис. 11).

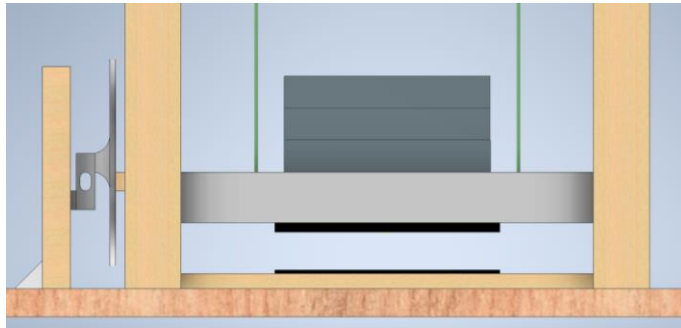


Рис. 11. Установка тензодатчика

7. Этап. Установка блока питания. На основании стэнда установлен блок питания тензодатчика для проведения измерений (рис. 12).

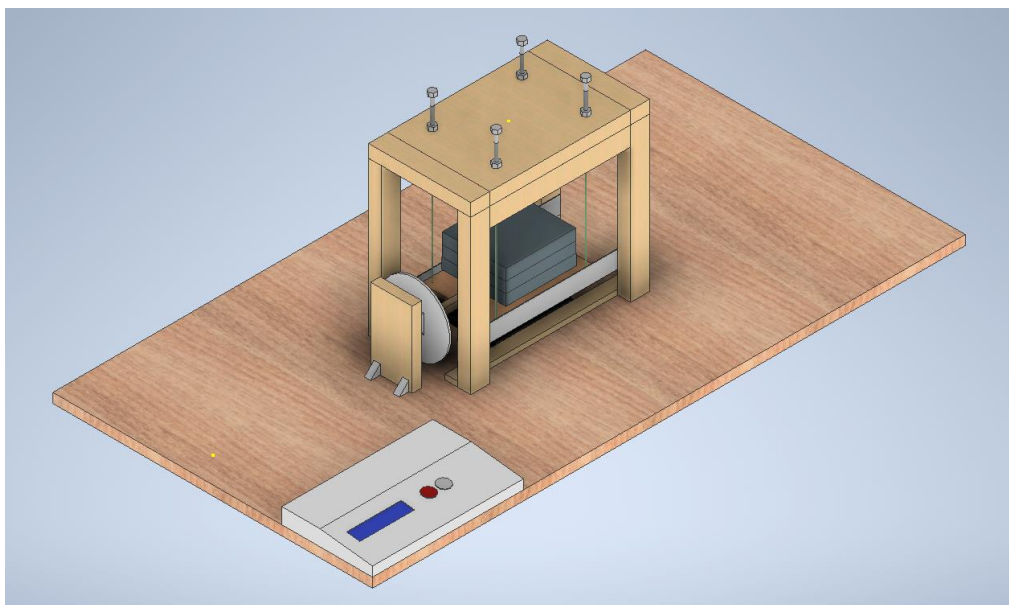


Рис. 12. Общий вид установки.

### **Возможности стэнда**

С помощью данного стэнда можно измерять силовое взаимодействие магнитов. Оно в свою очередь, зависит от множества факторов: схем компоновок (количество, размер магнитов и полюсников); величины воздушного зазора; относительного пространственного расположения магнитов и полюсников.

Вот некоторые примеры схем для исследования силового взаимодействия магнитов:

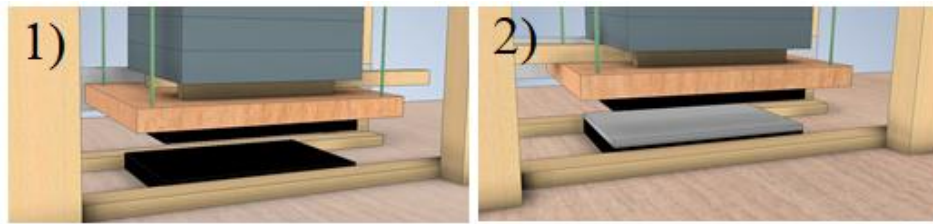


Рисунок 13. Опорная составляющая: 1) магнит 120×80;  
2) магнит 120×80 + полюсник 120×80

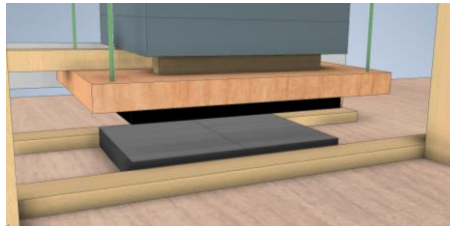


Рисунок 14. Опорная составляющая: магнит 80×60 (2шт.)

Для изменения сдвигающей силы, действующей на подвес, можно смещать опорный магнит по горизонтальным направляющим или изменять угол опорного магнита относительно горизонтальной составляющей. Аналогично можно изменять угол подвеса магнита и количество магнитов и полюсников.

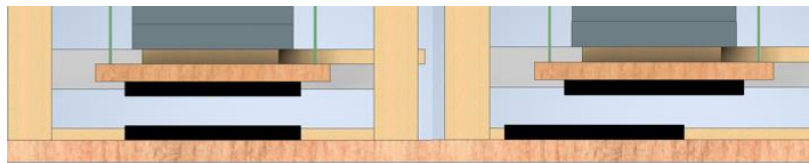


Рисунок 15. Смещение опорного магнита по горизонтальным направляющим

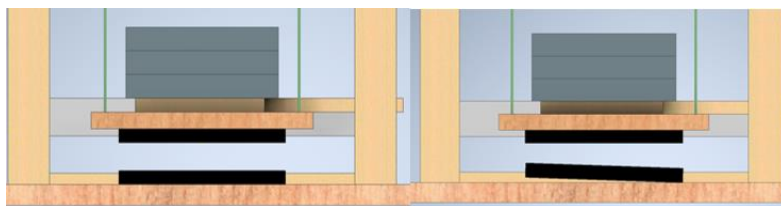


Рисунок 16. Изменение угла опорного магнита относительно горизонтальной составляющей

### Вывод

За использованием магнитных систем будущее, поэтому для их успешного применения необходимо знать параметры силового взаимодействия, которые могут зависеть от большого количества факторов, к примеру: угол взаимного расположения, воздушный зазор, смещение и т.д. Если поведение простых систем магнитов можно спрогнозировать, то для сложных для повышения точности измерений стоит создать стендовую модель с целью исследования и совершенствования элементов магнитной системы.

Разработка стенда проводилась на основе существующих аналогов конструкции. Разработанный стенд максимально соответствует необходимым параметрам для исследования силового взаимодействия в системах постоянных магнитов и полюсников. Разработанная конструкция стенда позволяет проводить измерения для исследования силового взаимодействия в системах постоянных магнитов, которые позволят создать системы магнитов и полюсников с более высоким КПД.

### **Список литературы**

1. Редди П.Б., Аравинд Д. Электрическая машина на постоянных магнитах, имеющая повышенный крутящий момент. Документ ЕА 38 121 В1, 2021.
2. Долженко С.Н. Магнитный подвес транспортного средства. Документ RU2779326С1, 2023.
3. Татевосян А.С., Педдер В.В., Пастушенко И.А., Буряков Н. Д. Экспериментальная методика идентификации высококоэрцитивных постоянных магнитов. Омский научный вестник №6, 2018, С. 94-98.
4. Байбаков С.Н., Шехель А.Б. Стенд для испытания транспортных устройств. Документ SU 66 1288 А1, 1979.
5. Есихито Миятаке, Мочимицу Комори, Кен-ичи Асами, и Нобуо Сакаи. Пробное применение намагничивания импульсным полем к конвейерной системе с магнитной левитацией. Опубликовано 27 сентября 2012.
6. Shuang Wang, Kun Hu, De-yong Li. Analysis and experimental research on air gap characteristics of permanent magnet low-resistance belt conveyor. IET Science, Measurement & Technology 12(4), published: February 2018, P. 472-478.