

ПРИМЕНЕНИЕ СБОРКИ ХАЛБАХА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ МАГНИТНОЙ ЛЕВИТАЦИИ

Мензелеев А.С., Бруцкий-Стемпковский Н.А.

Научный руководитель - Маркова Л.В., д.т.н., профессор

Левитация – это устойчивое положение объекта в гравитационном поле без непосредственного контакта с другими объектами. Необходимыми условиями для левитации являются: наличие силы, компенсирующей силу тяжести, и наличие возвращающей силы, обеспечивающей устойчивость объекта. Магнитная левитация – метод подъема объекта с помощью одного только магнитного поля. Самым значимым примером использования левитации является поезд на магнитной подушке. Такие поезда называют маглевами. На сегодняшний день используется три технологии для удержания маглевок над полотном дороги: на магнитах (электродинамическая подвеска, ЭДП), на электромагнитах (электромагнитная подвеска, ЭМП) и на постоянных магнитах. Технология на постоянных магнитах является наиболее экономичной. Здесь нет необходимости подводить электрический ток к магнитам (технология ЭДП), не нужно охлаждать среду для достижения эффекта сверхпроводимости (технология ЭМП). Всю работу берут на себя постоянные магниты и их особое расположение. В настоящее время наиболее оптимальным расположением магнитов является сборка Халбаха.

Цель работы – проанализировать сборку Халбаха, экспериментально наблюдать левитацию на постоянных магнитах.

Сборка была предложена Клаусом Халбахом в 1980-х годах, когда он заметил интересный эффект постоянных магнитов, способных усиливать свое поле с одной стороны, и ослаблять с другой. Рассмотрим идеальное двумерное поле Халбаха, которое образовано слиянием комбинаций магнитов (рис. 1). Первая комбинация – сочетание трех магнитов (рис. 1а). Центральный магнит установлен северным полюсом вверх, а соседние повернуты на 180° , то есть вверх южным полюсом. Так как разноименные поля притягиваются, то силовые линии магнитного поля, выходящие из полюсов магнитов, взаимно усиливаются вверху и внизу и образуют окружности, в которых направление силовых линий остается неизменным. Во второй комбинации магниты соединяют северными полюсами (рис. 1б). Из-за взаимного отталкивания одноименных полей силовые линии как бы расщепляются и уходят в зону, где на них не воздействуют другие одноименные поля, в данном случае – вверх и вниз. Здесь силовые линии также образуют замкнутые окружности, но направление силовых линий меняется на противоположное с прохождением половины окружности. При слиянии комбинаций, представленных на рис. 1а и рис. 1б, вверху

(над магнитами) силовые линии имеют одинаковую направленность и поэтому взаимно усиливают друг друга, а в нижней части (под магнитами) они имеют попарно противоположные направления, в результате чего компенсируются и магнитное поле в этой области отсутствует ($H=0$), как показано на рис. 1в.

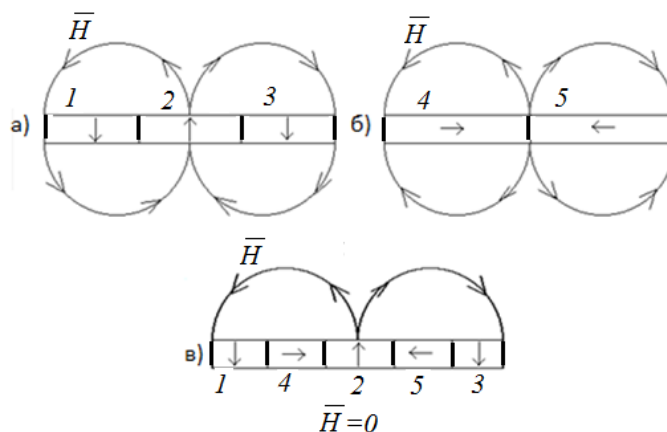


Рисунок 1. Механизм усиления магнитного поля с помощью сборки Халбаха: 1, 2, 3, 4, 5 – постоянные магниты, H – напряженность магнитного поля

Выше описана теоретическая модель идеального магнитного поля. На практике распределение магнитного поля имеет вид, представленный на рис. 2. Для удобства назовем магниты, направленные северными и южными полюсами вверх, основными, а остальные – вспомогательными. Силовые линии, выходящие из полюсов основных магнитов, под действием полей вспомогательных магнитов усиливаются с одной стороны и ослабевают с другой [1].

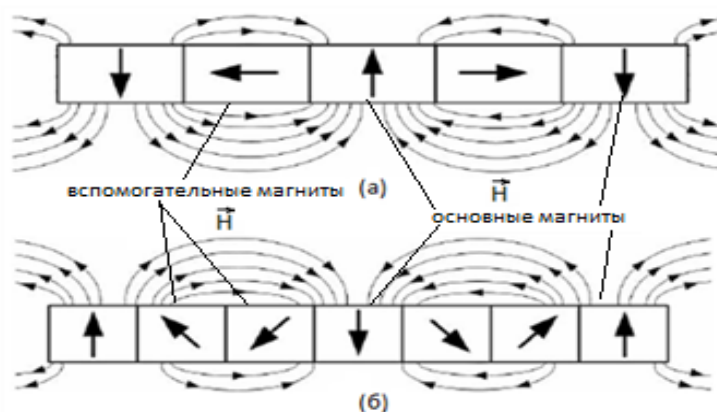


Рисунок 2. Сборка Халбаха: а) с двумя вспомогательными магнитами; б) с четырьмя вспомогательными магнитами

Многokратное повторение одной из таких последовательностей, показанных на рисунке, воспроизводит эффект сборки Халбаха. Для

максимального эффекта используются сильномагнитные материалы – ферромагнетики, например, NdFeB (неодим-железо-бор).

Нами экспериментально исследовалась сборка Халбаха, реализованная по схеме, приведенной на рис. 3. Магниты клинообразной формы компонуются в цилиндрическую сборку Халбаха. Магнитное поле усиливается в направлении медного листа, что и является ключевым моментом данного эксперимента. Вал вращает цилиндр с магнитами, а те в свою очередь индуцируют в медном листе токи. Токи создают почти зеркальную копию магнитного поля, которое является одноименным по отношению к полю магнитов. Вследствие этого цилиндр отталкивается от медного листа.

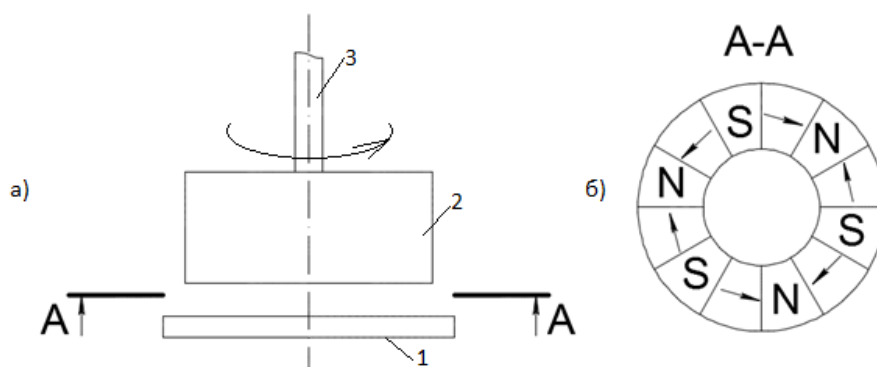


Рисунок 3. Схема исследуемой сборки Халбаха: а) 1 -медный лист, 2 - цилиндр Халбаха с клинообразными магнитами, 3 - вращающий вал; б) сборка Халбаха, вид снизу

В связи с техническими трудностями воспроизвести в точности сборку магнитов по схеме, приведенной на рис. 3, нам не удалось. В частности, магниты имели форму кубиков со стороной 8 мм, что затруднило их расположение по кругу таким образом, чтобы их грани при этом контактировали. Поэтому наблюдаемый эффект сборки Халбаха не проявился в полной мере. Несмотря на это, мы наблюдали вращение и подъем медного листа над вращающейся сборкой магнитов.

Эффективность сборки Халбаха позволит применять магнитную левитацию в транспортной промышленности, как приспособление для подъема грузов на предприятиях и стройках. Если человек создаст магнит с очень мощным магнитным полем, то данная идея может быть рассмотрена как вариант левитации над любой проводящей поверхностью, и тогда летающие машины и скейтборды станут реальностью.

Литература

1. A Review of Permanent Magnet Linear Motor with Halbach Array/by Mokhtar, IshakAris Center for Advanced Mechatronics and Robotics, College of Engineering /Journal of Engineering and Applied Sciences 11 (8): 1752-1761, 2016.