

**Бігун О.П.<sup>1</sup>, Співак О.А.<sup>1</sup>, Козленко О.В.,<sup>1, 2</sup>, Лаванов Г.Ю.<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup>Політехнічний ліцей НТУУ «КПІ» імені Ігоря Сікорського, Київ,  
пр.Берестейський 37, email: [becoolin7@gmail.com](mailto:becoolin7@gmail.com),

<sup>2</sup>Національний технічний університет України «Київський політехнічний  
інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, пр.Берестейський 37,  
email: [nyanata@gmail.com](mailto:nyanata@gmail.com)

<sup>3</sup>Національний авіаційний університет, 03058, м.Київ, просп. Любомира  
Гузара,1, email: [lavanov.gennady@ukr.net](mailto:lavanov.gennady@ukr.net)

## **ВЗАЄМОДІЯ МАГНІТІВ. КОМПЕНСАЦІЯ ЗСУВУ ОСІ ПРИ ВЗАЄМОДІЇ МАГНІТІВ**

**Анотація.** В роботі досліджено зсув осі об'єкта, що зазнає магнітної левітації. Запропоновано метод протидії зсуву осі за допомогою використання додаткового магніту.

**Abstract.** The paper examines the shift of the axis of an object undergoing magnetic levitation. A method of counteracting axis shift using an additional magnet is proposed.

**Ключові слова:** левітація, магнітне поле, зсув осі.

**Key words:** levitation, magnetic field, axis shift.

У майбутньому машини, які використовують паливо, будуть замінені машинами, які працюватимуть на електродвигунах. Проте, світ дуже стрімко розвивається, і наступною сходинкою будуть машини, які рухаються над землею (літаючі автомобілі). При їх створенні основною проблемою є те, що через взаємодію магнітних полів, об'єкт може зміщуватися то праворуч, то ліворуч. Тому актуальність даної роботи полягає у знаходженні ефективних способів зменшення зсуву осі при взаємодії магнітних полів, що дозволить зробити наступний крок у розвитку машинобудування.

**Мета роботи.** Виявлення методів протидії зсуву осі за допомогою використання додаткового магніту.

**Матеріали і результати досліджень.** Для виявлення ефективності запропонованого методу протидії зсуву осі шляхом використання додаткового магніту було проведено ряд експериментів. В першому експерименті вивчали взаємодію магнітних полів та визначали, яка маса потрібна для того щоб досягти повного дотику неодимових магнітів. Для

проведення даного експерименту використали установку для вимірювання сили магнітної левітації (рис. 1), 37 тягарців з масою 173 – 189 г.

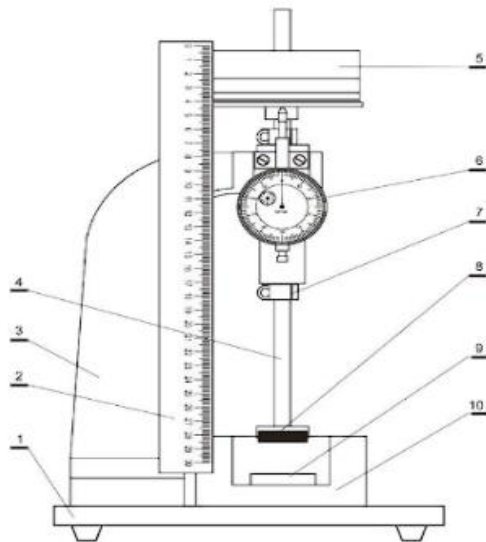
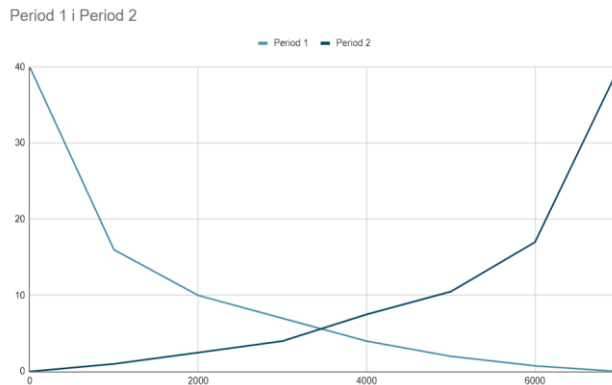


Рис. 1. Установка для вивчення магнітної левітації: 1 – опорна плита, 2 – лінійка, 3 – вертикальний кронштейн, 4 – шток, 5 – платформа для установки тягарців, 6 – мікрометричний індикатор для вимірювання переміщення штока з зразком, 7 – підшипники кочення, 8 – тримач постійного магніту, 9 – досліджуваний ВТНП зразок, 10 – кювети з рідким азотом.

Для того, щоб визначити середні показники значень, які потрібні для подальших дій, було здійснено наступні досліди, суть яких полягала в тому, що за допомогою тягарців визначалася маса, за якою обидва неодимових магніти доторкнулися (тобто відстань між ними дорівнювала 0), після чого проводилися вимірювання в зворотному напрямку. Провівши всі досліди, ми помітили ще одну закономірність: коли закінчили проводити кожне з 5 досліджень, маса, яку ми отримали в кінці, в деяких випадках мала розбіжність з початковою масою (78 г).

Початкова відстань між магнітами становила 40 мм. Коли ми починаємо збільшувати масу, відстань спочатку починає стрімко падати, але чим ближче один до одного стають магніти, тим більша маса нам потрібна, щоб зблизити магніти на ту саму відстань, що і на початку. Це зумовлено тим, що чим ближче магніти знаходяться один до одного, тим сильніше взаємодіють їх магнітні полі, і тому магніти починаються сильніше відштовхуватися, що зумовлює потребу збільшення маси. Коли ж ми починаємо проводити вимірювання в зворотному напрямку, зменшуючи масу, ми спостерігаємо, що відстань майже не змінюється, і тільки десь на середині починає змінюватися, як і при збільшенні маси.

Виконавши всі 5 дослідів і взявши їх середні значення, ми можемо скласти графік 1.



Графік 1. Залежність відстані від маси: блакитний – прямий, синій – зворотній хід

Коли ми довели відстань між неодимовими магнітами до мінімуму, можемо виміряти відстань зсуву верхнього магніту, що становить 4 мм.

В другому експерименті ми робимо практично ті самі дії, проте у нас з'являється додатковий третій магніт, який також бере участь у взаємодії магнітних полів. Цей магніт складається з металевого порожнистого циліндру, до якого кріпляться два магніти, здатні підняти 30 кг кожен. Для першої частини дослідів закріпимо магніти до циліндру таким чином, як показано на рис. 2 (а).

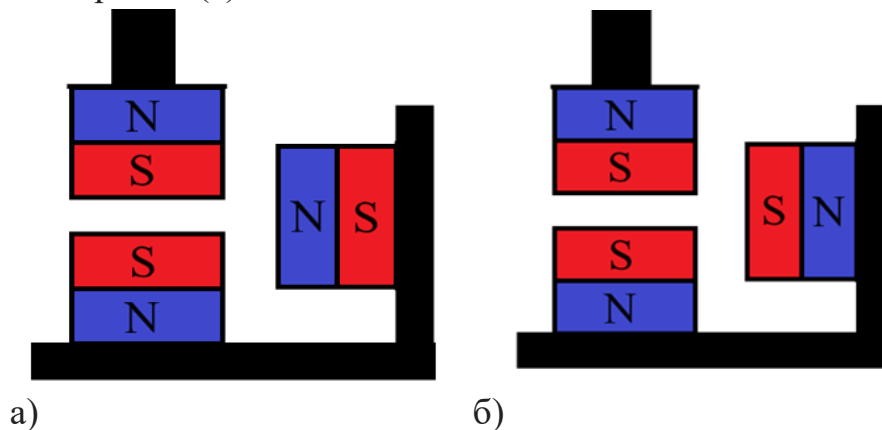


Рис. 2. а) – випадок 1, б) – випадок 2

Для початку розташуємо магніт на такій відстані, на якій взаємодія магнітних полів буде найвища (10 мм). Коли магніт буде розташований на даній відстані, верхній магніт опуститься з 40 мм до 14 мм. Після цього ми аналогічно, як і в досліді 1, використовуємо тягарці. Після того, як показник

відстані опуститься до 0, можна зробити висновок, що кількість магнітів нам потрібна та сама, що і без впливу 3 магніту. Також ми визначили головну мету нашого дослідження: зсув осі з 4 мм змінився до 3,5 мм, а це означає, що для повної компенсації зсуву нам потрібні 8 таких магнітів, які в сумі можуть підняти 480 кг. Далі ми здійснюємо зворотній хід до цього досліду. Слід зауважити, що тут ми використовуємо індикатор, оскільки показники занадто низькі, щоб їх можна було точно визначити на лінійці.

У даному досліді було помічено, що коли починаєш поступово зменшувати вагу, відстань між магнітами збільшується дуже повільно та з малими темпами.

Для другої частини досліду закріпимо магніти до циліндру навпаки, рис. 2 (б).

Основною відмінністю другої частини від першої є те, що в першій верхній магніт рухається лише вниз, а у другій у певний момент (коли досягає максимуму), починає рухатися вниз. Нашим максимумом буде відстань між магнітами у 51 мм і 59 мм між неодимовими магнітами і додатковим.

Далі робимо все так, як у першій частині, проте помічаємо, що кількість магнітів, яка потрібна щоб досягти відстані 0 між магнітами, відрізняється від звичної для нас – ми використали на 6 магнітів менше. При зворотному ході показники майже збігаються.

**Висновки.** Теоретичні дослідження та їх експериментальна перевірка довели можливість використання запропонованого методу зменшення зсуву осі. Чим ближча відстань між магнітами, то більшу силу потрібно прикласти, щоб довести цю відстань до 0. Якщо ввести збоку в установку третій магніт полюсом N на відстані 10 мм, то відстань між неодимовими магнітами знизиться від 40 до 14 мм, проте кількість магнітів, необхідна для зменшення відстані до 0 мм, нам потрібна та сама, що і при першому досліді. Зсув осі при максимальній взаємодії магнітних полів дорівнював 4 мм, проте завдяки двом магнітам, які разом можуть утримувати 60 кг, вдалося зменшити її до 3,5 мм. З цього випливає, що для повної компенсації зсуву потрібно вісім таких магнітів ( $8 \cdot 0,5 \text{ мм} = 4 \text{ мм}$ ).

## ЛІТЕРАТУРА

[1]. Білецький В.С. Мала гірнича енциклопедія. В 3т. Т.1. Донецьк: Донбас, 2004. 640 с.

[2]. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. В 3т.  
Т.1. Київ: Техніка, 2006. 532 с.