

ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНІ НАУКИ

DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-5-81-24>

УДК 537.63

Гаврилюк В.В., Козленко О.В., Климук О.С.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Свердліченко Д.Ю.

Політехнічний ліцей Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

РОЗРОБКА СПОСОБУ СТАБІЛІЗАЦІЇ ОБ'ЄКТА, ЩО ПІДДАЄТЬСЯ МАГНІТНІЙ ЛЕВІТАЦІЇ, У ГОРИЗОНТАЛЬНІЙ ПЛОЩИНІ

Анотація. В даній роботі досліджується явище магнітної левітації. Розглядається його сутність та способи досягнення. Перелічуються приклади застосування явища магнітної левітації в світових передових технологіях та сучасних технічних засобах з зазначенням певних переваг технічних засобів, сконструйованих на основі новітніх технологій, в порівнянні з традиційними аналогами. В роботі також розглянуто модель простої конструкції, що забезпечує магнітну левітацію об'єкта, та поставлено за мету її вдосконалення. Авторами роботи досліджується магнітолевітаційна технологія, яка може бути застосована для стабілізації об'єктів різного призначення в горизонтальній площині. В результаті запропоновано пристрій, що може бути використаний зокрема для поперечної стабілізації транспортних засобів на магнітній підвісці.

Ключові слова: магнітне поле, магнітна левітація, магнітний підвіс, стабілізація, маглеви.

Gavrilyuk Viktor, Kozlenko Oleg, Klymuk Olena

National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Sverdlichenko Dmytro

Technical Lyceum of Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

WORKING OUT OF A METHOD OF AN OBJECT STABILIZATION IN THE HORIZONTAL PLANE UNDER CONDITIONS OF MAGNETIC LEVITATION

Summary. This paper investigates the phenomenon of magnetic levitation – a state in which a solid body "hangs" in the force field of the suspension without any mechanical contact with the surrounding bodies. The essence of this phenomenon is considered as well as ways how to achieve it: either with the help of device based on an electromagnet, or a set of magnets made of diamagnetic materials, also experiments with the levitation of the magnet over the superconductor are known, as well as levitation in eddy currents. Examples of application of the phenomenon of magnetic levitation in advanced technologies and modern technical means which are already used by many countries around the world are listed, among them magnetic bearings, wind turbines using magnetic suspension, maglev trains. Certain advantages of the technical means constructed on the basis of the newest technologies in comparison with traditional analogues are noted. The paper also considers a model of simple construction that provides magnetic levitation of the object invented by Roy M. Harrigan. The invention relates to apparatus for creating levitation and more particularly to magnetic or electrostatic field apparatus to achieve levitation. The authors aimed to improve this model. To do this, the authors investigate the magnetic levitation technology that can be used to stabilize objects of different purposes in the horizontal plane. The result is working out of a device that can be used in particular for lateral stabilization of vehicles on a magnetic suspension. The invented device is equipped with an additional drive disk, and the location of the main and additional disks on top of each other with the possibility of their rotation in opposite directions, provides reliable stabilization of the object in the horizontal plane (due to gyroscopic effect), and also prevents the rotation of the object due to the mutual compensation of friction forces between the main and additional disks and the object. The experiment was performed in the premises of the educational and scientific laboratory of cryogenic equipment on the basis of Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute.

Keywords: magnetic field, magnetic levitation, magnetic suspension, stabilization, maglev trains.

Постановка проблеми. Левітацією є стан, в якому тверде тіло «зависає» у силовому полі підвісу без будь-якого механічного контакту з оточуючими тілами. У випадку магнітної левітації гравітація долається спрямованим у протилежний бік магнітним полем. Магнітне поле характеризується магнітним тиском. Ця характеристика може бути використана для нейтралізації сили

гравітації. Іншими словами, якщо сила тяжіння спрямована відносно тіла, що розглядається, згори донизу, то магнітний тиск можна спрямувати відносно того самого тіла знизу вгору.

Складність досягнення магнітної левітації на практиці полягає в тому, що статичне магнітне поле як таке, саме по собі, не може протистояти силі тяжіння. Магнітний тиск не може бути сфо-

кусованим в одній точці простору, оскільки він є нестійким та нестабільним. Однак за допомогою впровадження додаткових елементів проблема може бути вирішеною, тобто цілком можливо стабілізувати магнітне поле і з його допомогою зафіксувати об'єкт у гравітаційному полі.

Утримувати об'єкт у стані стійкої рівноваги за допомогою магнітного поля можна різними способами: в основі діючої установки може бути застосований електромагніт, або набір магнітів з діамантних матеріалів, відомі досліди з левітацією магніту над надпровідником, а також левітація в умовах вихрових струмів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Перші розробки неконтактних підвісів феритових тіл були реалізовані у 30-х роках ХХ століття [1]. А у 1945 році було створено неконтактний підвіс на основі явища надпровідності. Застосування магнітної левітації відкриває широкі перспективи для розвитку технологій і створення досконалих технічних засобів, розглянемо деякі з них.

1. Магнітні підшипники, які не потребують змащення та використання яких не супроводжується енергетичними втратами через тертя. Такі підшипники забезпечують високу швидкість за малого енергоспоживання та низького рівня вібрації [2] і використовуються в оптичних системах високої точності та лазерних установках.

2. Вітрогенератори з використанням магнітного підвісу (винахідник – Ед Мазур, 1981 рік), які вже використовуються у Китаї [3]. Застосування магнітного підвісу знижує затрати на обслуговування та підвищує строк придатності генератора. Генератори на основі магнітної левітації можуть обертатися незважаючи на напрям вітру та навіть за умови дуже слабого вітру, вони мають більший ККД, стійку конструкцію, яка дозволяє витримувати сильні вітри і навіть урагани, низьке шумове навантаження, відсутність магнітного випромінювання та вібрації, є простими та компактними в своїй конструкції.

3. Поїзди на магнітній подушці, або маглеви, що не торкаються поверхні рейки, а приводяться до руху та керуються магнітними силами. Ідея належить німецькому інженеру Херманові Кемперу (1934 рік), а найбільших успіхів у реалізації цих надшвидкісних потягів на сьогодні досягли Японія та Китай [4]. У порівнянні зі звичайними рейковими поїздами маглеви завдяки відсутності механічному контакту з рейками створюють значно менший шум та вібрацію, не можуть зійти з рейок, мають більш легку конструкцію та не потребують затратного обслуговування. Діючі у Китаї маглеви забезпечують швидкість ~ 400 км/год, а тестові випробування таких поїздів у Японії склали рекордну швидкість ~ 600 км/год.

За даними Національної академії наук України, і в нашій країні вже існують розробки магнітно-левітаційних систем, систем магнітного підвісу, електроприводів тощо, які можуть бути доопрацьовані для умов їх експлуатації в подальших високотехнологічних пристроях [5].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Від самого початку вивчення явища магнітної левітації пріоритетним напрямком досліджень є пошук нових конструкцій для стабілізації об'єктів, які були б простими і недорогими в технічному виконанні та в той са-

мий час могли б бути використані у більш складних технічних засобах.

Однією з таких конструкцій, яку авторами було взято за основу з подальшою метою вдосконалення, є пристрій магнітної левітації об'єкта, запропонований Роем Харріганом, що містить нерухому основу із змонтованими на ній магнітами, а також розташований над нерухомою основою об'єкт, що піддається магнітній левітації й споряджений щонайменше одним магнітом і приводним обертовим відносно вертикальної осі диском, жорстко з'єднаним з об'єктом [6].

На відміну від аналогів, відомих на той час, наприклад [7], зазначений пристрій вже був більш простим у монтажі й демонтажі. Проте внаслідок жорсткого з'єднання з диском об'єкт цього пристрою мав обертатися разом з диском, що звужувало експлуатаційні можливості об'єкта та унеможливило застосування об'єкта, що піддається левітації, як транспортного засобу.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Отже, метою даної роботи є вдосконалення пристрою магнітної левітації об'єкта, (який може бути використаний в тому числі як транспортний засіб), у якому його нове конструктивне виконання унеможливило обертання об'єкта, що піддається левітації, а отже забезпечує можливість його застосування як транспортного засобу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Поставлена задача вирішується тим, що в пристрої магнітної левітації об'єкта, що містить нерухому основу із змонтованими на ній магнітами, а також розташований над нерухомою основою об'єкт, що піддається магнітній левітації й споряджений щонайменше одним магнітом і приводним обертовим відносно вертикальної осі диском, згідно з описаною вище моделлю Роя Харрігана, новим є те, що об'єкт споряджено додатковим приводним обертовим відносно вертикальної осі диском, при цьому основний і додатковий диски розташовані один над одним з можливістю їх обертання в протилежних напрямках.

Спорядження пристрою додатковим приводним диском, а також розташування основного й додаткового дисків один над одним з можливістю їх обертання в протилежних напрямках, не лише забезпечує надійну стабілізацію об'єкта в горизонтальній площині (за рахунок гіроскопічного ефекту), а й унеможливило обертання об'єкта через взаємну компенсацію сил тертя між основним і додатковим дисками та об'єктом.

Принципову схему запропонованого пристрою зображено на рис. 1.

Пристрій магнітної левітації об'єкта, містить нерухому основу 1 із змонтованими на ній магнітами 2, а також розташований над нерухомою основою об'єкт 3, споряджений щонайменше одним магнітом 4 і приводним обертовим відносно вертикальної осі 5 диском 6. Об'єкт також споряджено приводним обертовим відносно вертикальної осі 5 додатковим диском 7, при цьому основний 6 і додатковий 7 диски розташовані один над одним з можливістю їх відносного обертання в протилежних напрямках.

Пристрій працює в такий спосіб. Внаслідок взаємодії магнітів 2, що закріплені на нерухомій

основі 1, з магнітом 4 об'єкт 3 стабілізується передусім по висоті, а завдяки обертанню основного й додаткового дисків 6 і 7 – у горизонтальній площині. При цьому сили тертя, які виникають між основним і додатковим дисками 6 і 7 та об'єктом 3, взаємно компенсуються, і тому об'єкт 3 залишається нерухомим відносно вертикальної осі 5.

На запропонований пристрій отримано патент на корисну модель [8].

Висновки із даного дослідження і перспективи застосування результатів. Таким чином, в роботі висвітлено застосування явища магнітної левітації у сучасних технічних засобах, що створює широкі перспективи для розвитку технологій, які базуються на даному явищі, зокрема в альтернативній енергетиці, в технічних пристроях і транспортних засобах. Можна стверджувати, що роботи у даному напрямку ведуться як світовими, так і вітчизняними дослідниками.

Також в роботі розглянуто модель простої конструкції, що забезпечує магнітну левітацію об'єкта. Запропоновано пристрій, що може бути

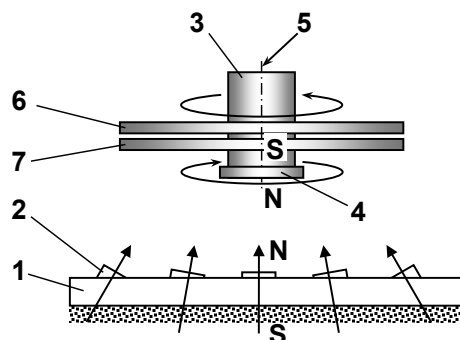


Рис. 1. Схематичне зображення пристрою магнітної левітації об'єкта

використаний для стабілізації об'єкта в горизонтальній площині.

Робота виконана в учбово-науковій лабораторії кріогенної техніки кафедри загальної та теоретичної фізики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Список літератури:

1. Мартыненко Ю.Г. О проблемах левитации тел в силовых полях. *Соросовский образовательный журнал*. 1996. № 3. С. 82–86.
2. Журавлев Ю. Активные магнитные подшипники. Теория, расчет, применение. Санкт-Петербург : Политехника, 2003. 206 с.
3. Константинова С. Типы ветродвижателей. Новые конструкции и технические решения. *Энергетика и ТЭК*. 2013. № 1. С. 16–20.
4. Hyung-Woo Lee, Ki-Chan Kim, and Ju Lee. Review of Maglev Train Technologies. *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 42, № 7, July 2006, pp. 1917–1925.
5. Для внедрения Hyperloop нужны технологии магнитной левитации, – Академия наук Украины. URL: <https://ukranews.com/news/611265-dlya-vnedreniya-hyperloop-nuzhny-tekhnologii-magnitnoi-levitacii-akademiya-nauk-ukrainy> (дата звернення: 29.05.2020).
6. Пат. Великобританії № GB642353A, НПК 12(i), A16; опубл. 30.08.1950.
7. Пат. США № US4382245A, МПК H01F 7/02, опубл. 03.05.1983.
8. Пат. 142032 Україна, МПК B60L 13/04. № U 2019 10924; опубл. 12.05.2020, бюл. № 9.

References:

1. Martynenko, Yu.G. (1996). On the problems of levitation of bodies in force fields. *Soros Educational Journal*, no. 3, pp. 82–86.
2. Zhuravlyov, Yu. (2003). Active magnetic bearings. Theory, calculation, application. Sankt-Peterburg: Polytechnika, 206 p.
3. Konstantinova, S. (2013). Types of wind turbines. New designs and technical solutions. *Energetika i TEK*, no. 1, pp. 16–20.
4. Hyung-Woo Lee, Ki-Chan Kim, and Ju Lee (2006). Review of Maglev Train Technologies. *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 42, № 7, July, pp. 1917–1925.
5. To implement Hyperloop, magnetic levitation technologies are needed, – Academy of Sciences of Ukraine. URL: <https://ukranews.com/news/611265-dlya-vnedreniya-hyperloop-nuzhny-tekhnologii-magnitnoi-levitacii-akademiya-nauk-ukrainy> (accessed: 29.05.2020).
6. Patent of Great Britain № GB642353A, НПК 12(i), A16; publ. 30.08.1950.
7. Patent of the USA № US4382245A, МПК H01F 7/02, publ. 03.05.1983.
8. Patent of Ukraine № 142032, МПК B60L 13/04. № U 2019 10924; publ. 12.05.2020.