

**С.В. Струтинський, д.т.н., доцент,**

*Національний технічний університет України «КПІ» ім.І.Сікорського*

## **ОБГРУНТУВАННЯ МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ТОЧКОВИХ МАГНІТНИХ КОНТАКТНИХ ОПОР В АКУМУЛЯТОРАХ КІНЕТИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ**

Для вирішення задач накопичення енергії широко використовуються механічні акумулятори, що запасують кінетичну енергію. Акумулятори кінетичної енергії мають низьку вартість та значний ресурс. Застосування акумуляторів кінетичної енергії в поєднанні із альтернативними джерелами енергії є перспективним [1]. Механічні акумулятори використовуються в автомобілях та інших транспортних засобах. Перспективним є застосування акумуляторів такого типу в мобільних наземних роботизованих комплексах. Механічний акумулятор забезпечує швидкий розгін шасі комплексу, дає можливість суттєво підвищити статичну та динамічну несучу здатність маніпулятора роботизованого комплексу.

Типова конструкція акумулятора містить масивний ротор, як правило у формі кільця, що обертається навколо нерухомої осі. Накопичення та зняття енергії забезпечується електричним мотор-генератором.

Енергія, що запасується обертовим ротором знаходиться за залежністю:

$$E = \frac{J \cdot \omega^2}{2}. \quad (1)$$

де  $J$  - момент інерції ;  $\omega$  – кутова швидкість.

Обертові системи маніпулятора мають суттєвий недолік – значні втрати енергії у підшипниках кочення та втрати обумовлені аеродинамічним опором. Проведені дослідження направлені на суттєве зниження втрат енергії за рахунок спеціальної конструкції ротора та використання інноваційних магнітних підшипників

Момент тертя в підшипниках ротора складає :

$$M_{\text{тр}} = f_{\text{тр}} * F_{\text{рез}} * \frac{d}{2} \quad (2)$$

де  $f_{\text{тр}}$  - еквівалентний коефіцієнт тертя ;  $F_{\text{рез}}$  – результуюче нормальне навантаження;  $d$  - еквівалентний діаметр.

Потужність, що затрачується на подолання сил тертя у підшипниках :

$$N = M_{\text{тр}} * \omega. \quad (3)$$

Отже сумарна потужність, що втрачається на подолання сил тертя, залежить від кутової швидкості  $\omega$ , діаметру підшипника  $d$  та навантаження  $F_{\text{рез}}$ . Коефіцієнт тертя  $f_{\text{тр}}$  є сталою величиною для серії підшипників. Діюче навантаження визначається масою ротора та умовами роботи маніпулятора.

Для підвищення частоти обертання ротора та зменшення втрат потужності доцільно застосувати підшипники спеціального виду, зокрема гідродинамічні, аеростатичні або аеродинамічні. Особливо перспективними опорами швидкісного маховика є аеродинамічні радіальні та осьові опори [2].

Іншим перспективним напрямком є застосування активних та пасивних магнітних опор. Активні магнітні опори містять електромагніти, датчики, що визначають положення валу у просторі та систему керування, що забезпечує магнітне центрування валу та відсутність контакту валу та втулки. Недоліком таких систем є необхідність у затратах енергії на функціонування опори.

На основі проведених досліджень запропонована прогресивна конструкція точкової магнітної контактної опори. Вона дозволяє значно знизити втрати енергії та розширити область застосування механічного акумулятора кінетичної енергії.

Конструктивно точкова магнітна контактна опора складається із ротора 1, що має сферичну форму (рисунок 1).

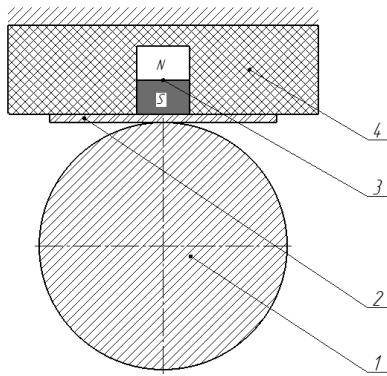


Рисунок 1- Конструктивна схема точкової магнітної контактної опори

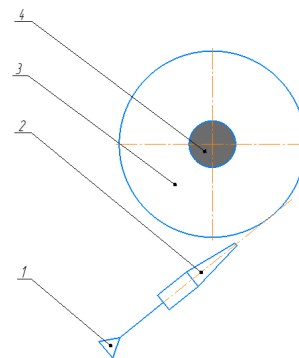


Рисунок 2- Соплова система, що забезпечує обертання кулі

Ротор виготовлений із феромагнітного матеріалу, за рахунок чого виникає сила притягання між ротором та магнітом 3, що перевищує силу ваги ротора. Конструктивно магніт закріплений на основі 4, а магніт та ротор розділені проставкою 2, що виконана із немагнітного антифрикційного матеріалу.

Товщина немагнітної проставки визначає силу притискання ротора. Доцільно забезпечити силу притискання ротора на рівні 10-20% від гравітаційної сили. У цьому випадку момент сил тертя буде визначатися за залежністю (2),(3). Причому  $F_{\text{рез}}$  визначає зусилля притискання ротора до немагнітної проставки. Запропонована конструкція відрізняється від магнітних опор інших типів наявністю точкового контакту поверхонь. На відміну від фрикційних опор інших типів зусилля притискання у 5-10 разів менше ніж гравітаційна сила ротора, що веде до відповідного зменшення сил тертя. При поперечно-кутових переміщеннях основи 4 обертовий ротор веде себе як вільний гіроскоп зберігаючи своє положення в просторі. При цьому навантаження на опору та сили тертя залишаються незначними і мало залежать від поперечно-кутових переміщень основи.

Проведені експериментальні дослідження втрат енергії в точковій магнітній контактній опорі. Для обертання сферичного ротора в процесі досліджень застосована соплова система (рисунок 2). Вона включає джерело стисненого повітря 1, сопло 2, вісь якого розміщена по дотичній до поверхні кулі 3, яка утримується у рівновазі за допомогою магніту 4. Струмінь повітря, рухаючись по дотичній до поверхні сфери, взаємодіє з її поверхнею та забезпечує обертання кулі.

Для експериментальних досліджень розроблена і виготовлена експериментальна установка (рисунок 3). Вона має точну кулю 1, виготовлену із феромагнітного матеріалу, за рахунок чого виникає сила зчеплення між нею та магнітом 3, що перевищує силу ваги кулі. Конструктивно магніт закріплений на нерухомій основі 4. Нерухома основа містить датчик частоти обертання кулі. Магніт та куля розділені проставкою 2, що виготовлена зі скла. У експериментальній установці передбачена соплова система 5, що забезпечує обертання кулі. Після розкрутки кулі до певної частоти обертання подача стисненого повітря припинялась і куля мала можливість вільно обертатися. Вимірювався час за який частота обертання знижувалась приблизно на 10%.

За результатами серії експериментів встановлювалось значення моменту сили сухого тертя та сил опору повітря.

Енергія, що накопичується кулею теоретично знаходиться за залежністю (1), а втрати на тертя за залежністю (3). В експериментах втрати на тертя визначалися за наступною методикою. Визначалися проміжки часу  $\Delta t$ , за які частота обертання кулі знижувалась від значення  $\omega_2$  до  $\omega_1$ . Загальне зменшення кінетичної енергії обертового ротора визначалось формулою:

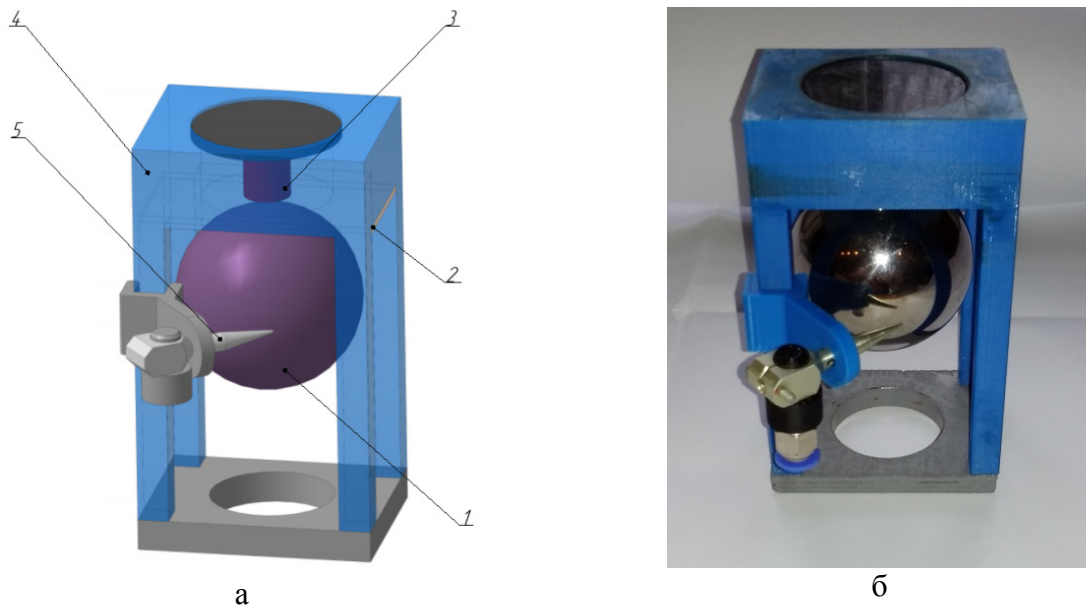


Рисунок 3 - Розроблена експериментальна установка для дослідження втрат на тертя у магнітній контактній опорі: а- конструктивна схема установки; б- фото установки

$$\Delta E = \frac{J \cdot (\omega_2^2 - \omega_1^2)}{2}.$$

У першому наближенні, якщо припустити, що частота обертання змінюється несуттєво, отримаємо:

$$\Delta E = N(\omega) \cdot \Delta t = M_{\text{тр}} \cdot \frac{\omega_2 + \omega_1}{2} \cdot \Delta t \quad .$$

Із даної залежності визначено момент сил опору обумовлених тертям. Він складає близько 0.001% від моменту опору ротора на підшипниках кочення.

### Висновки:

Акумулятори кінетичної енергії є перспективними з точки зору їх застосування у енергетичних комплексах сумісно із альтернативними джерелами енергії. Основною проблемою при роботі таких акумуляторів є значні втрати на тертя у опорах. Запропонована ефективна конструкція точкової контактної магнітної опори. На основі серії проведених дослідів встановлено рівень втрат на тертя у контактній магнітній опорі. Експериментальним чином визначено, що рівень втрат на тертя відповідає втратам у фрикційній опорі, з врахуванням того, що навантаження на опору є екстремально низьким за рахунок використання магнітної системи і складає близько 0.001% від моменту опору ротора на підшипниках кочення . Отже отримані експериментальні результати свідчать про можливість застосування магнітних контактних опор в акумуляторах кінетичної енергії. Перспективно застосувати дані акумулятори в мобільних наземних роботизованих комплексах які швидко змінюють своє положення під час руху.

### Список літератури

1. J. Cibulka, "Kinetic Energy Recovery System by means of flywheel energy storage", *Advanced Engineering*, 3(2009), ISSN 1846-5900/
2. Веркович Г.А. Справочник конструктора точного машиностроения: / Веркович Г.А и др.– Л.:Машиностроение. Ленингр. отделение, 1989. – 792 с.