

**СЕКЦІЯ: ФІЗИКО-ТЕХНІЧНІ ОСНОВИ РОЗВИТКУ НОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

УДК 621.865

**Р.З. Золотий, к.т.н., доц.; О.Р. Дмитрів к.т.н., доц.; Р.І. Охнівський; В. П.Семенець**  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

**АВТОМАТИЗОВАНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ КОЕФІЦІЄНТІВ ТЕРТЯ ПРИ  
ТРАНСПОРТУВАННІ КУЛЬОВИХ ОБ'ЄКТІВ**

**R. Zoloty, Ph.D., Assoc. Prof; O. Dmytriv, Ph.D., Assoc. Prof; R. Ohnivskiy; . V.Semenets**  
**AUTOMATED DETERMINATION OF DYNAMIC COEFFICIENTS OF FRICTION  
DURING TRANSPORTATION OF BALL OBJECTS**

При переміщенні кульових тіл, обмежених сферичною поверхнею, залежно від умов транспортування, коефіцієнт тертя куль до опорних поверхонь, може змінюватись від коефіцієнта тертя кочення до коефіцієнта тертя ковзання.

Зокрема, при переміщенні куль по жолобу, утвореному двома прутковими направляючими, в точках контакту проходить взаємне переміщення об'єктів, яке характерне як для кочення, так для ковзання (верчення), що унеможливує пряму оцінку коефіцієнту динамічного тертя куль до направляючих поверхонь жолоба.

В цьому випадку коефіцієнт тертя можна визначити непрямим методом із порівнянням часу проходження певної траси за наявності тертя та при його відсутності.

Зокрема при відсутності тертя із умови збереження кінетичної та потенціальної енергії кінцева швидкість шару при переміщенні між двома точками з перепадом висот  $\Delta h$  буде  $v = \sqrt{2g\Delta h}$ , звідки теоретичне значення часу  $t_T$  переміщення кулі на цій ділянці без тертя буде

$$t_T = \int_0^S \frac{ds}{\sqrt{2g\Delta h(s)}} \quad (1)$$

де  $H$  - початкова висота розміщення;  $s$  - біжуча довжина траси від 0 до  $S$ .

При наявності енергетичних втрат на тертя час проходження траси буде більший і його визначають експериментально.

Для прямолінійних похилих дільниць динамічний коефіцієнт тертя можна визначити аналогічно [1]:

$$\mu_{\vartheta} = \left[ 1 - \left( \frac{t_0}{t_E} \right) \right] \operatorname{tg} \alpha \quad (2)$$

де  $t_0$  - час руху без урахування сили тертя (час вертикального падіння,  $\alpha = 90^\circ$ );  $t_E$  - час руху з урахування сили тертя по похилій площині за експериментальними результатами.

Ще більш складнішими будуть динамічні впливи реакцій транспортуючих та направляючих поверхонь на кульовий об'єкт при його переміщенні гвинтовими транспортуючими пристроями. Так, при вертикальному підйомі куль гвинтовим пристроєм по двох направляючих, нормальні реакції від поверхонь будуть спрямовані до центру кулі, а тангенціальні - протилежно вектору швидкостей відносного переміщення поверхонь куль та опорних поверхонь в точках контакту.

Для розрахунку вертикального підйому куль розмістимо систему координат  $Oxyz$  таким чином, щоб вісь  $Oz$  співпадала із віссю гвинта, а вісь  $Ox$  була спрямована в сторону куль, що піднімаються.

Для центрування куль гвинтова поверхня робочого органу повинна притискати їх до направляючих, що забезпечується відповідним її нахилом.

Тоді параметричне рівняння обертової гвинтової поверхні буде:

$$x = u \cos(v - \omega t); \quad y = u \sin(v - \omega t); \quad z = vT/(2\pi) - u \sin \delta \quad (3)$$

де  $u$  та  $i$  - лінійний та кутовий параметр гвинтової поверхні;  $\omega$  - кутова швидкість обертання гвинта;  $\delta$  - кут нахилу гвинтової поверхні в радіальному січенні.

На кулю, що розміщена на віддалі  $\rho$  від осі гвинта і має координати  $C(\rho; 0; \omega T / 2\pi)$ , зі сторони направляючих в горизонтальній площині будуть діяти реакції  $\vec{N}_k$  та  $\vec{N}_k$ , що направлені до центру кулі. Зі сторони гвинтової поверхні на кулю буде діяти нормальна реакція

$$\vec{N}_k = N_k (\sin \delta \cdot \vec{i} + \sin \alpha_\rho \cos \delta \cdot \vec{j} + \cos \alpha_\rho \cos \delta \cdot \vec{k}) , \quad (4)$$

де  $\alpha_\rho$  - кут підйому гвинта в точці контакту з кулею.

Реакції, що діють на кулю із 3 ступенями вільності, залежать від перерозподілу сил, що вносяться силами тертя, напрямком яких задається напрямком вектору кутової швидкості,  $\vec{\omega}_k = \vec{\omega}_x + \vec{\omega}_y + \vec{\omega}_z$  і може бути визначений експериментально.

З метою встановлення умов транспортування кулі по направляючих гвинтовим підйомником, експериментального визначення динамічного коефіцієнта тертя кульових об'єктів по пруткових направляючих та гвинтовій поверхні та визначення оптимізації транспортної системи для кульових об'єктів, розроблена експериментальна установка, рис., яка в автоматизованому режимі буде реалізовувати програму експерименту.

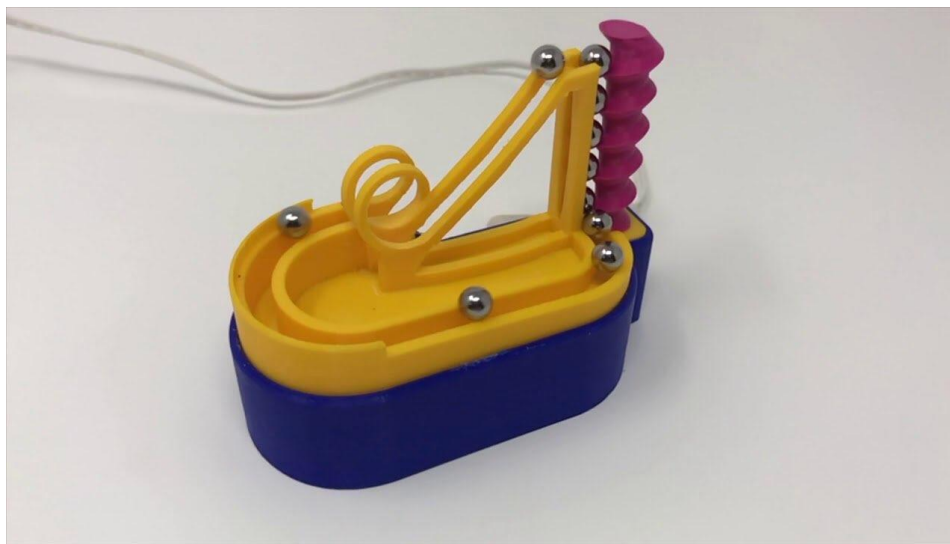


Рис.1. Установка для експериментального визначення динамічних коефіцієнтів тертя кульових об'єктів в автоматизованому режимі.

Час проходження кульових об'єктів по трасі буде визначатись з допомогою безконтактних датчиків. Провертання куль при транспортуванні, зокрема на гвинтовому підйомнику та інші кінематичні параметри оцінюватимуться швидкісною зйомкою. Зміна швидкості обертання гвинта здійснюватиметься частотним перетворювачем. Установка знаходиться в стадії налагодження, її елементи виготовлені методом 3-D друку.

#### Література:

1. Аврутов В. В. К задаче определения трения скольжения. Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування. 2011. Вип. 42. С. 195-199.