

4. Yin W., Yu Y., Zhao Y. Volumetric efficiency degradation prediction of axial piston pump based on friction and wear test. Processes. 2024. Т. 12, вип. 3. (Article 424). URL: <https://doi.org/10.3390/pr12030424>.
5. Надмолекулярні структури рідких мастильних середовищ та їх вплив на знос технічних систем / уклад. Лисіков Є.М., Косолапов В.Б., Воронін С.В. – Харків, 2009. -273 с
6. Hwang, S. (). Development of Experimental Device for Analysis of Hydraulic Oil Characteristics with Dielectric Constant Sensors. Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, 2024. 33(4) DOI : 10.9725/kts.2021.37.2.41
7. Chong, H., Zhou, Y., Liu, J., Yang, P., Han, B., Li, X. Measurement of Lubricating Film Thickness by Combining Electrical Capacitance and Optical Interferometry Method. Lubrication Engineering, 2023. 48(2), 135-141.

УДК 621.825

МОМЕНТ ІМПУЛЬСУ ХРЕСТОВИНИ ШАРНІРА НЕРІВНИХ КУТОВИХ ШВИДКОСТЕЙ

О. О. Коряк¹, С. С. Кононов²

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

²SPX FLOW, Rochester, New York, USA

¹*alexanderalexkor@gmail.com*, ²*sergeykonov1989@gmail.com*

Шарнір нерівних кутових швидкостей (шарнір Гука) є головним елементом класичних карданних передач, а також широко використовується для передачі обертального руху в приводах різноманітних механізмів, осі валів яких перетинаються під деяким кутом α , що може змінюватися в процесі роботи.

Як показав аналіз літературних джерел, при дослідженнях динамічних процесів, які відбуваються в механічних передачах з використанням шарніра Гука, досить часто не враховуються масово-інерційні параметри хрестовини і особливості її руху. Це пояснюється відносно незначною масою хрестовини, через що вона майже не впливає на динаміку карданної передачі. Такий підхід цілком виправданий при розрахунках тихохідних передач, але, при точних розрахунках швидкохідних передач таке спрощення може призвести до відчутної похибки.

Фундаментальною динамічною характеристикою сферичного руху твердого тіла є його момент імпульсу. Враховуючи важливість даної характеристики, метою роботи є дослідження зміни моменту імпульсу хрестовини шарніра Гука в процесі його функціонування.

На рис. 1 представлена схема шарніра нерівних кутових швидкостей. Вали 1 (вхідний) і 3 (вихідний), а також нерухомо пов'язані з ними карданні

вилки, здійснюють прості оберталні рухи. Вектори кутових швидкостей ланок 1 і 3 на схемі позначені $\bar{\omega}_1$ і $\bar{\omega}_3$ відповідно. Кут між зазначеними векторами (міжосьовий кут передачі) позначений α . Напрямки осей ординат Oy_1 і Oy_3 нерухомих декартових систем координат $Ox_1y_1z_1$ і $Ox_3y_3z_3$ збігаються з напрямками відповідних векторів кутових швидкостей ланок 1 і 3. Осі Ox_2 , Oy_2 і Oz_2 рухомої, пов'язаної з хрестовиною 2, декартової системи координат $Ox_2y_2z_2$ співпадають з головними центральними осями інерції хрестовини, моменти інерції відносно яких позначимо I_{2x2} , I_{2y2} і I_{2z2} відповідно.

Позначимо через \bar{i}_2 , \bar{j}_2 , \bar{k}_2 одиничні вектори (орти) додатних напрямків координатних осей Ox_2 , Oy_2 , Oz_2 відповідно (див. рис. 1). Розкладемо вектор \bar{L}_2 моменту імпульсу хрестовини 2 за ортонормованим базисом $(\bar{i}_2; \bar{j}_2; \bar{k}_2)$:

$$\bar{L}_2 = \bar{i}_2(I_{2x2}\omega_{2x2}) + \bar{j}_2(I_{2y2}\omega_{2y2}) + \bar{k}_2(I_{2z2}\omega_{2z2}), \quad (1)$$

де ω_{2x2} ; ω_{2y2} ; ω_{2z2} – координати вектора $\bar{\omega}_2$ кутової швидкості хрестовини в базисі $(\bar{i}_2; \bar{j}_2; \bar{k}_2)$.

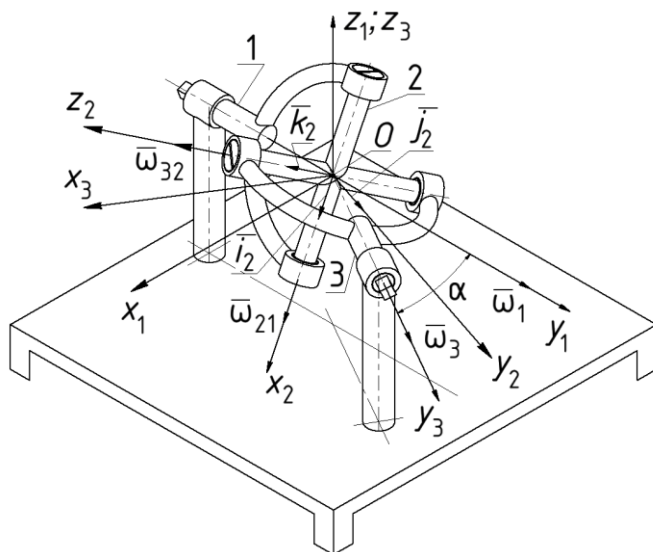


Рис. 1. Схема шарніра нерівних кутових швидкостей

В праці [1] отримано вирази для обчислення координат вектора $\bar{\omega}_2$ в базисі $(\bar{i}_2; \bar{j}_2; \bar{k}_2)$:

$$\omega_{2x2} = \omega_1 \frac{\cos \alpha \sin \alpha \cos \varphi_1}{1 - \sin^2 \alpha \cdot \cos^2 \varphi_1}; \quad (2)$$

$$\omega_{2y2} = \frac{\omega_1 \cos \alpha}{\sqrt{1 - \sin^2 \alpha \cdot \cos^2 \varphi_1}}; \quad (3)$$

$$\omega_{2z2} = -\frac{\omega_1 \sin \alpha \sin \varphi_1}{\sqrt{1 - \sin^2 \alpha \cdot \cos^2 \varphi_1}}, \quad (4)$$

де φ_1 – кут повороту вхідної ланки 1.

Враховуючи (1)-(4), знаходимо проекції вектора \bar{L}_2 на координатні осі рухомої системи координат $Ox_2y_2z_2$:

$$L_{2x2} = I_{2x2}\omega_1 \frac{\cos\alpha \sin\alpha \cos\varphi_1}{1 - \sin^2\alpha \cdot \cos^2\varphi_1}; \quad (5)$$

$$L_{2y2} = I_{2y2}\omega_1 \frac{\cos\alpha}{\sqrt{1 - \sin^2\alpha \cdot \cos^2\varphi_1}}; \quad (6)$$

$$L_{2z2} = -I_{2z2}\omega_1 \frac{\sin\alpha \sin\varphi_1}{\sqrt{1 - \sin^2\alpha \cdot \cos^2\varphi_1}}. \quad (7)$$

Можна вважати, що для переважної більшості хрестовин реальних карданних шарнірів $I_{2x2}=I_{2z2} < I_{2y2}$. Позначимо коефіцієнт, який пов'язує моменти інерції хрестовини відносно її головних центральних осей інерції,

$$k_I = I_{2x2}/I_{2y2} = I_{2z2}/I_{2y2}. \quad (8)$$

Тоді, з урахуванням (5)-(8), вираз (1) матиме вид:

$$\bar{L}_2 = \omega_1 I_{2y2} \left[\bar{i}_2 k_I \frac{\cos\alpha \sin\alpha \cos\varphi_1}{1 - \sin^2\alpha \cdot \cos^2\varphi_1} + \bar{j}_2 \frac{\cos\alpha}{\sqrt{1 - \sin^2\alpha \cdot \cos^2\varphi_1}} - \bar{k}_2 k_I \frac{\sin\alpha \sin\varphi_1}{\sqrt{1 - \sin^2\alpha \cdot \cos^2\varphi_1}} \right]. \quad (9)$$

Модуль вектора моменту імпульсу хрестовини

$$L_2 = \sqrt{L_{2x2}^2 + L_{2y2}^2 + L_{2z2}^2} = \frac{\omega_1 I_{2y2} \cos\alpha \sqrt{(1 - \sin^2\alpha \cos^2\varphi_1)(1 + k_I^2 \operatorname{tg}^2\alpha \sin^2\varphi_1) + k_I^2 \sin^2\alpha \cos^2\varphi_1}}{1 - \sin^2\alpha \cdot \cos^2\varphi_1}. \quad (10)$$

Положення вектора \bar{L}_2 в рухомій системі координат $Ox_2y_2z_2$ можна визначити за допомогою напрямних косинусів. Враховуючи формули (5)-(7) для визначення координат вектора \bar{L}_2 в базисі $(\bar{i}_2; \bar{j}_2; \bar{k}_2)$, а також залежність (10), одержимо вирази для напрямних косинусів вектора \bar{L}_2 :

$$\cos(\bar{L}_2; \bar{i}_2) = \frac{k_I \sin\alpha \cos\varphi_1}{\sqrt{(1 - \sin^2\alpha \cos^2\varphi_1)(1 + k_I^2 \operatorname{tg}^2\alpha \sin^2\varphi_1) + k_I^2 \sin^2\alpha \cos^2\varphi_1}}; \quad (11)$$

$$\cos(\bar{L}_2; \bar{j}_2) = \frac{\sqrt{1 - \sin^2\alpha \cos^2\varphi_1}}{\sqrt{(1 - \sin^2\alpha \cos^2\varphi_1)(1 + k_I^2 \operatorname{tg}^2\alpha \sin^2\varphi_1) + k_I^2 \sin^2\alpha \cos^2\varphi_1}}; \quad (12)$$

$$\cos(\bar{L}_2; \bar{k}_2) = -\frac{k_I \operatorname{tg}\alpha \sin\varphi_1 \sqrt{1 - \sin^2\alpha \cos^2\varphi_1}}{\sqrt{(1 - \sin^2\alpha \cos^2\varphi_1)(1 + k_I^2 \operatorname{tg}^2\alpha \sin^2\varphi_1) + k_I^2 \sin^2\alpha \cos^2\varphi_1}}. \quad (13)$$

За умови рівності між собою моментів інерції твердого тіла відносно його головних центральних осей, вектор кутової швидкості і вектор моменту імпульсу тіла мають збіжний напрямок. Тому, якщо в формулах (11)-(13) покласти $k_I=1$, то отримаємо залежності, за якими можна також обчислити напрямні косинуси вектора $\bar{\omega}_2$ в рухомій системі координат $Ox_2y_2z_2$.

Література

1. Коряк О. О. Аксоїди шарніра Гука / О. О. Коряк // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. №1 (2022). С 62-73. ISSN 2222-0631, DOI 10.20998/2222-0631.2022.01.08.
2. Шуклінов, С. М., Леонтьєв, Д. М., & Холод, А. В. (2025). Щодо питання теоретичного дослідження кулькових шарнірів типу BIRFIELDRZEPPA. *Маєтріали конференції «Сучасне автомобілебудування, транспорт і дорожня інфраструктура '2025 (MAITRI 2025)»*, Харків, 30–31 жовт. 2025 р.
3. Леонтьєв, Д., Товт, Б., & Малий, В. (2025). Formulation of the problem of topology optimization of automobile and agricultural machinery structures. *Автомобільний транспорт*, (56), 19-28.

УДК 621.362

ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ПЕЛЬТЬЄ В АВТОМОБІЛЕБУДУВАННІ

Є. О. Чаплигін, Є. В. Міщенко, С. С. Фокін

Харківський національний автомобільно-дорожній університет
chaplygin.e.a@gmail.com

Використання елементів Пельтьє (термоелектричних модулів) в автомобілебудуванні – це перспективний напрям, який дозволяє перетворювати різницю температур безпосередньо в електроенергію або створювати компактні системи охолодження/нагріву без рухомих частин.

Рекуперация енергії вихлопних газів (TEG – Thermoelectric Generators) – ця технологія перетворює автомобіль на «гібрид», що живиться не лише паливом, а й власним теплом.

Генератор зазвичай встановлюється в розріз вихлопної труби (після каталізатора). Він складається з центрального теплообмінника, по якому проходять гази (температура 400...800 °С), та зовнішнього контуру охолодження, підключеного до загальної системи охолодження двигуна (~ 90 °С).

Оскільки звичайні елементи Пельтьє на основі телуриду вісмуту (Bi_2Te_3) плавляться при високих температурах, у TEG використовують середньотемпературні матеріали (скуттерудити, телурид свинцю) або високотемпературні силіциди магнію.