

## Література

1. Karpenko V.O, Voropay O.V., Neskreba E. Ye. (2022). Indirect assessment of the rolling resistance of a car tire in the starting mode of motion. *Avtomobil'nyy transport*. (50) P. 5-13. <https://doi.org/10.1115/1.2936925>
2. Karpenko V.O., Neskreba E. Ye. (2022). Refined assessment of tire rolling resistance in the starting mode. *Avtomobil'nyy transport*, (51), 5-13. <https://doi.org/10.30977/AT.2219-8342.2022.51.0.01>
3. Колесников, К. С. (1955). Автоколебания управляемых колес автомобиля.
4. Rostami, H. T., Najafabadi, M. F., Ganji, D. D. (2023). Investigation of tire stiffness and damping coefficients effects on automobile suspension system. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 1–8. [DOI: 10.1177/09544070231151860](https://doi.org/10.1177/09544070231151860)

УДК 531.8

Коряк Олександр Олексійович, к.т.н., доц., ХНАДУ,  
alexanderalexkor@gmail.com

## ОСОБЛИВОСТІ СФЕРИЧНОГО РУХУ ХРЕСТОВИНИ ШАРНІРА НЕРІВНИХ КУТОВИХ ШВИДКОСТЕЙ

### Вступ

Шарнір нерівних кутових швидкостей (універсальний шарнір Гука) отримав широке розповсюдження завдяки простоті конструкції, надійності та високих експлуатаційних показників. Він дозволяє передавати обертальний рух у випадках, коли осі валів перетинаються під деяким кутом  $\alpha$ , який може змінюватися в процесі роботи передачі.

### Актуальність, мета і задачі дослідження

Сферичний рух хрестовини зі змінним, відносно миттєвої осі обертання, моментом інерції позначається на нерівномірності обертання валів карданної передачі. Проте цей вплив досить незначний і ним зазвичай нехтують.

Потреба врахування масово-геометричних параметрів хрестовини та всебічного аналізу її руху може виникнути при точних розрахунках високошвидкісних карданних передач. В цьому разі рух хрестовини зручно розглядати, згідно теореми Л. Пуансо, як обкочування без ковзання рухомого аксоїда по нерухомому аксоїду [1-3]. Це дасть наочне уявлення про орієнтацію її миттєвої осі обертання в нерухомій і рухомій системах координат.

В [3] відзначається, що миттєва вісь обертання хрестовини, яка утворює її рухомий аксоїд, здійснює коливання всередині конуса з кутом розчину, який дорівнює подвоєному міжосьовому куту передачі, і вершиною в центрі хрестовини. Також сказано, що нерухомим аксоїдом є деяка конічна поверхня, яка знаходиться всередині рухомого аксоїда. Але при цьому відсутні

розрахункові залежності, які б дозволили визначити параметри нерухомого і рухомого аксоїдів хрестовини.

Виходячи з аналізу літературних джерел, метою даної роботи є визначення параметрів нерухомого і рухомого аксоїдів хрестовини шарніра Гука. Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні задачі:

- отримати рівняння годографа вектора абсолютної кутової швидкості хрестовини в нерухомій і рухомій системах координат;
- визначити параметри нерухомого і рухомого аксоїдів хрестовини шарніра Гука.

### Рівняння годографа вектора кутової швидкості хрестовини в нерухомій і рухомій системах координат

На рис. 1 представлена схема універсального шарніра Гука і показана орієнтація осей прямокутних систем координат: нерухомих  $Ox_1y_1z_1$  і  $Ox_3y_3z_3$ , в яких напрямки осей ординат  $Oy_1$  і  $Oy_3$  збігаються з напрямками відповідних векторів кутових швидкостей  $\bar{\omega}_1$  і  $\bar{\omega}_3$  ланок 1 і 3, і рухомої  $Ox_2y_2z_2$ , пов'язаної з хрестовиною 2. Всі системи координат мають загальний початок (т.  $O$ ), розташований в центрі хрестовини.

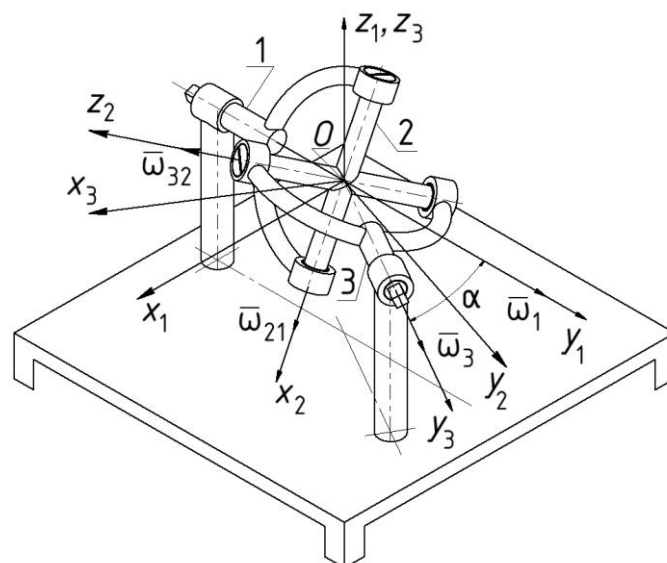


Рисунок 1 – Схема шарніра Гука

В результаті дослідження сферичного руху хрестовини шарніра Гука отримано рівняння годографа вектора  $\bar{\omega}_2$  абсолютної кутової швидкості хрестовини в нерухомій системі координат  $Ox_1y_1z_1$ :

$$\frac{(x_1 - 0,5\omega_1 \operatorname{tg} \alpha)^2}{(0,5\omega_1 \operatorname{tg} \alpha)^2} + \frac{z_1^2}{(0,5\omega_1 \sin \alpha)^2} = 1, \quad (1)$$

де  $\omega_1$  – кутова швидкість вхідної ланки;  
 $\alpha$  – міжосьовий кут передачі.

Рівняння (1) являє собою канонічне рівняння еліпса з центром в точці з координатами  $(0,5\omega_1 \operatorname{tg}\alpha; 0)$  та напівосями: велика піввісь еліпса  $a = 0,5\omega_1 \operatorname{tg}\alpha$ , мала піввісь еліпса  $b = 0,5\omega_1 \sin \alpha$ .

Отримано також рівняння годографа вектора  $\bar{\omega}_2$  абсолютної кутової швидкості хрестовини в рухомій системі координат  $Ox_2y_2z_2$ . Він являє собою замкнену просторову криву, параметричні рівняння якої мають вигляд:

$$\begin{cases} x_2 = \omega_1 \frac{\cos \alpha \sin \alpha \cos \varphi_1}{1 - \sin^2 \alpha \cos^2 \varphi_1}; \\ y_2 = \frac{\omega_1 \cos \alpha}{\sqrt{1 - \sin^2 \alpha \cos^2 \varphi_1}}; \\ z_2 = -\frac{\omega_1 \sin \alpha \sin \varphi_1}{\sqrt{1 - \sin^2 \alpha \cos^2 \varphi_1}}, \end{cases} \quad (2)$$

де  $\varphi_1$  – кут повороту вхідної ланки.

### Параметри нерухомого і рухомого аксоїдів хрестовини шарніра Гука

Враховуючи параметри напрямного еліпса (1), отримано рівняння нерухомого аксоїда хрестовини в системі координат  $Ox_1y_1z_1$ :

$$\frac{x_1^2}{\operatorname{tg}^2 \alpha} + \frac{z_1^2}{\sin^2 \alpha} - \frac{x_1 y_1}{\operatorname{tg} \alpha} = 0. \quad (3)$$

Як випливає з рівняння (3), нерухомий аксоїд є похилим еліптичним конусом з вершиною в центрі хрестовини.

В результаті дослідження також отримано рівняння рухомого аксоїда в системі координат  $Ox_2y_2z_2$ :

$$\begin{aligned} & (y_2^4 + y_2^2 z_2^2 + x_2^2 z_2^2)(y_2^2 \operatorname{tg}^2 \alpha - z_2^2) \cos^2 \alpha \sin^2 \alpha - \\ & - x_2^2 y_2^2 (y_2^2 \operatorname{tg}^2 \alpha - z_2^2) \cos^4 \alpha - x_2^2 y_2^2 z_2^2 = 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Рівняння (4) досить громіздке. Проте, при визначенні орієнтації миттєвої осі обертання хрестовини в рухомій системі координат у випадку малих кутів  $\alpha$  рухомим аксоїдом хрестовини можна наближено вважати прямий круговий конус з вершиною в центрі хрестовини і кутом розчину, який дорівнює подвоєному міжосьовому куту передачі, тобто  $2\alpha$ .

### Висновки

1. Нерухомий аксоїд хрестовини шарніра Гука являє собою похилий еліптичний конус з вершиною в центрі хрестовини, а його протилежні твірні,

які перетинають велику вісь напрямного еліпса, збігаються з осями ведучого і веденого валів шарніра.

2. Рухомий аксоїд хрестовини шарніра Гука є замкненою кінчною поверхнею зі змінним кутом розчину, максимальне значення якого дорівнює подвоєному значенню міжосьового кута передачі, тобто  $2\alpha$ .

3. У випадку малих кутів  $\alpha$ , що має місце в практиці використання одинарного шарніра Гука, рухомим аксоїдом хрестовини можна наближено вважати прямий круговий конус з вершиною в центрі хрестовини і кутом розчину  $2\alpha$ .

### Література

1. Кіницький Я. Т. Теорія механізмів і машин. – Київ: Наукова думка, 2002. – 660 с.

2. Павловський М. А. Теоретична механіка. – Київ: «Техніка», 2002. – 511 с.

3. Лойцянский Л. Г., Лурье А. И. Курс теоретической механики. Т. 1. – М.: Гостехиздат, 1955. – 380 с.

УДК 62-2

Красніков Сергій Васильович, к.т.н., доцент,

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

### **МОДАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПАРОВОЇ ТУРБІНИ ВЕЛИКОЇ ПОТУЖНОСТІ ПОБЛИЗУ РОБОЧОЇ ЧАСТОТИ**

Україна має велику кількість теплових та атомних електростанцій. На них встановлено багатоступінчаті парові турбіни. Вперше ідея використання багатоступінчастої парової турбіни була запропонована англійським інженером Парсонсом. Парсонс запропонував всю енергію пари розділити на кілька частин і спрацювати кожну частину в окремих турбінних щаблях, розташованих послідовно одна за одною на одному загальному валу. Багатоступінчасті турбіни можуть виконуватися активними, реактивними і такими, що поєднують у собі як активні, так і реактивні ступені – турбіни змішаного типу. З погляду надійності та економічності безцільно шукати переваги та недоліки одного типу турбін перед іншим. Активний ступінь, за інших рівних умов, здатний спрацювати вдвічі більший тепловий перепад, ніж реактивний. Тому при однакових початкових і кінцевих параметрах пара активна багатоступінчаста турбіна матиме вдвічі менше ступеня, ніж реактивна, що значно скорочує довжину ротора і масові та габаритні показники турбіни. Але при цьому довжина активного ступеня дещо більша, ніж реактивної. Ротори активних турбін через свою конструкцію мають меншу масу, тому маневрені якості активних турбін вищі, ніж реактивних. Але барабанні ротори реактивних турбін простіші і більше технологічні у виготовленні, хоча мають гірші масові та