

УДК 631.223:636.74

## ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ І МЕТОДИ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА КОРИСНОЇ ДІЇ СФЕРО-ГЛОБОЇДНОГО СУХАРНОГО СИНХРОННОГО КАРДАННОГО ШАРНІРА

*Пилипець М.І*

*Саньоцький А.М*

*Тернопільський національний технічний університет,*

*В роботі запропоновано метод розрахунку коефіцієнта корисної дії сферо-глобоїдного сухарного синхронного карданного шарніру з умови балансу потужностей і запропоновано шляхи його підвищення.*

*Method of calculating the coefficient efficiency of cardan joint from conditions of balance capacity and the ways it increases are offered in the paper.*

### **Постановка проблеми**

Карданний шарнір являється важливим вузлом карданної передачі будь-якої сільськогосподарської машини. Важливим параметром карданного механізму є коефіцієнт корисної дії (к.к.д.), який вказує на доцільність використання всієї карданної передачі. Для збільшення значення к.к.д. сферо-глобоїдного сухарного синхронного карданного шарніру необхідно зменшувати втрати на тертя, а це як правило зменшення спрацювання його поверхонь які труться, а отже, збільшення віддачі потужності, що передається карданом і, відповідно, збільшення продуктивності. Таким чином к.к.д. для карданного шарніру один з основних параметрів, що характеризує його працездатність, а тому його дослідження та розроблення методики розрахунку являється актуальним як для проектування так і для експлуатації карданної передачі.

### **Аналіз останніх досліджень**

Питаннями дослідження коефіцієнту корисної дії карданної передачі займалися автори: Вахламов В. К. [1], Беккер А.Х., Вагнер Н.Р., Вебстер Н.В., Дода Д.Х. [2] та інші. Авторами виведені формули для розрахунку коефіцієнта корисної дії одинарного асинхронного карданного шарніру, наведені математичні залежності параметрів поступальної кінематичної пари в шліцьовому з'єднанні карданної передачі, однак не наводяться методики розрахунку к.к.д. сферо-глобоїдних сухарних синхронних карданних передач, не враховуються при визначенні к.к.д. карданної передачі умови балансу потужностей що передаються карданним шарніром.

Робота виконується у відповідності до координаційного плану з питань науки і техніки України, розділу «Машинобудування» на 2010-2014 роки.

### **Формулювання мети доповіді**

Метою даної роботи є дослідження умов роботи сферо-глобоїдного сухарного синхронного карданного шарніру та розроблення методики розрахунку к.к.д. карданної передачі.

*Виклад основного матеріалу*

Коефіцієнт корисної дії сферо-глобоїдного сухарного синхронного карданного шарніра з наявністю тертя-ковзання можна розрахувати із умови балансу потужностей, які передаються карданним шарніром.

Припустимо, що момент опору на вихідному валу карданного шарніра є постійним, так само як і постійною є кутова швидкість її обертання. Визначимо необхідний обертовий момент на вхідному валу при постійній кутовій швидкості. Їх співвідношення у кожен момент часу дасть миттєвий к.к.д., а усереднене значення – середній к.к.д. шарнірної передачі.

Внаслідок симетрії системи розподіл зусиль на вхідній та вихідній ланках буде однаковим і симетричним. На вхідному валу діє обертовий момент, який забезпечує рух системи та перемагає момент від сил тертя сферичних кулачків. Аналогічно глобоїдний сухар передає момент для обертання веденої ланки і подолання моменту сил тертя сферичних кулачків. Втрати енергії на тертя відбуваються у двох ланках, вважатимемо їх рівними внаслідок симетрії системи, однакової якості поверхні та умов мащення.

Позначимо обертовий момент у глобоїдному сухарі через  $T$ , момент ведучої ланки  $T_1$ , а момент веденої ланки  $T_2$ .

Умови балансу потужностей зі сторони ведучої ланки:

$$\begin{aligned}T_1\omega &= T\omega + W_f; \\T_2\omega &= T\omega - W_f;\end{aligned}\quad (1)$$

де  $W_f$  – потужність сил тертя у кожній із ланок.

Потужність сил тертя визначимо через швидкість переміщення по колу сферичних кулачків відносно глобоїдного сухаря.

Сила тертя кулачка по поверхні становитиме:

$$F = \mu \frac{T}{2R \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}.\quad (2)$$

Відповідно, для двох кулачків енергія втрат становить:

$$W_f = 2FR \frac{d\beta}{dt};\quad (3)$$

де  $\beta$  – кутове зміщення кулачка відносно його початкового положення.

Для визначення кута  $\beta$  скористаємося формулою, яка визначає кут між двома векторами. За перший вектор візьмемо горизонтальну вісь  $X$ , за другий – пряму, що з'єднує центр кола із точкою на колі. Для інших точок зміна кута  $\beta$  буде аналогічною.

Запишемо рівняння векторів:

$$\begin{aligned}\mathcal{E}0 &= \{R, 0, 0\}; \\ \mathcal{E}1 &= \{X_1, Y_1 - Y_s, Z_1 - Z_s\}.\end{aligned}\quad (4)$$

Кут між векторами, після перетворень, визначиться за формулою:

$$\cos\left(\frac{\alpha}{2} + \beta\right) = \frac{X_1}{R}. \quad (5)$$

Виконавши підстановки та перетворення, формула (5) набуде вигляду:

$$\cos\left(\frac{\alpha}{2} + \beta\right) = \cos\left(\frac{\gamma}{2}\right)\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) - \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right)\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)\cos(\omega t) + \frac{\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{\cos\left(\frac{\gamma}{2}\right)}\left(1 - \cos\left(\frac{\gamma}{2}\right)\right)\sin^2(\omega t) \quad (6)$$

Визначимо кутову швидкість переміщення кулачка глобoidною поверхнею, продиференціювавши за часом формулу (6) і застосувавши певні перетворення:

$$\frac{d\beta}{dt} = -\omega \sqrt{1 - \left[ \cos\left(\frac{\gamma}{2}\right)\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) - \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right)\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)\cos(\omega t) + \frac{\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{\cos\left(\frac{\gamma}{2}\right)}\left(1 - \cos\left(\frac{\gamma}{2}\right)\right)\sin^2(\omega t) \right]^2} \quad (7)$$

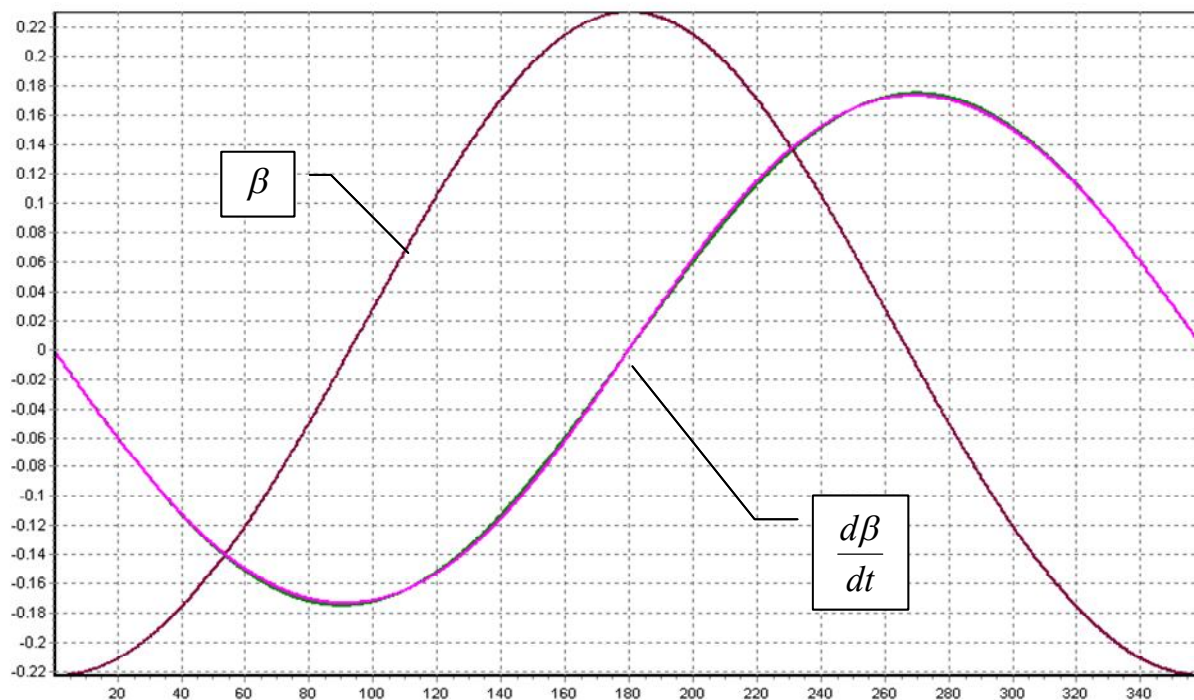


Рис. 1. Зміна кута  $\beta$  і кутової швидкості  $\frac{d\beta}{dt}$  від кута повороту ведучої ланки (при  $\alpha = 140^\circ$ ,  $\gamma = 20^\circ$ ,  $\omega = 1$ ).

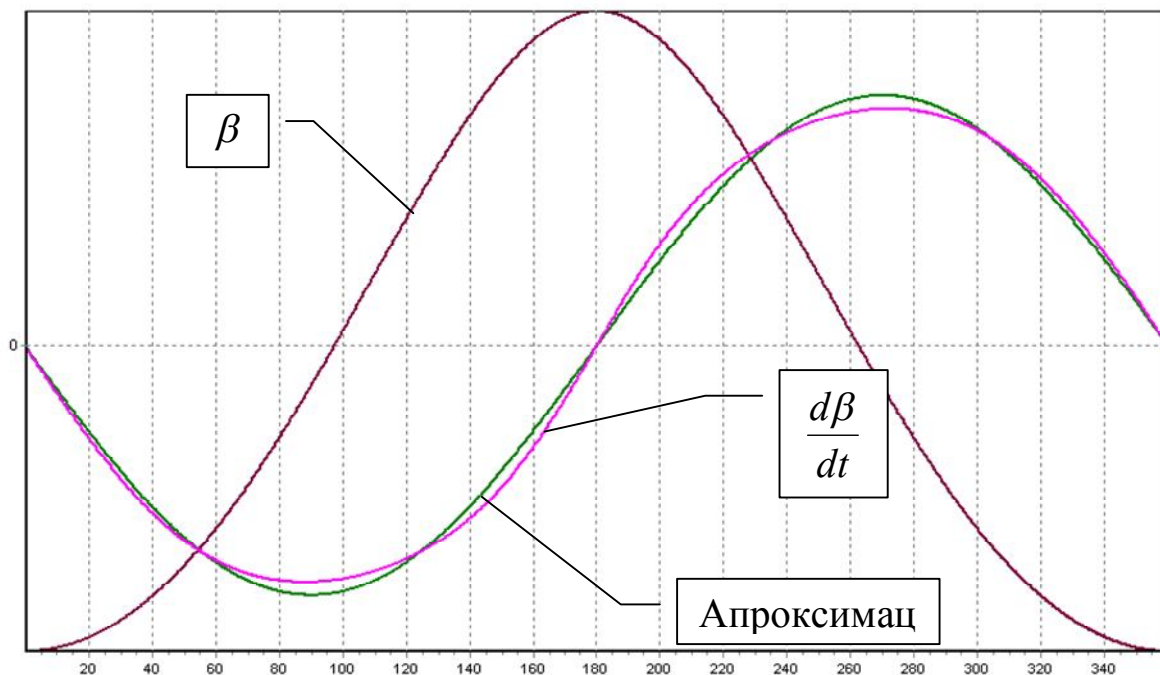


Рис. 2. Зміна кута  $\beta$  і кутової швидкості  $\frac{d\beta}{dt}$  від кута повороту ведучої ланки (при  $\alpha = 140^\circ$ ,  $\gamma = 50^\circ$ ,  $\omega = 1$ ).

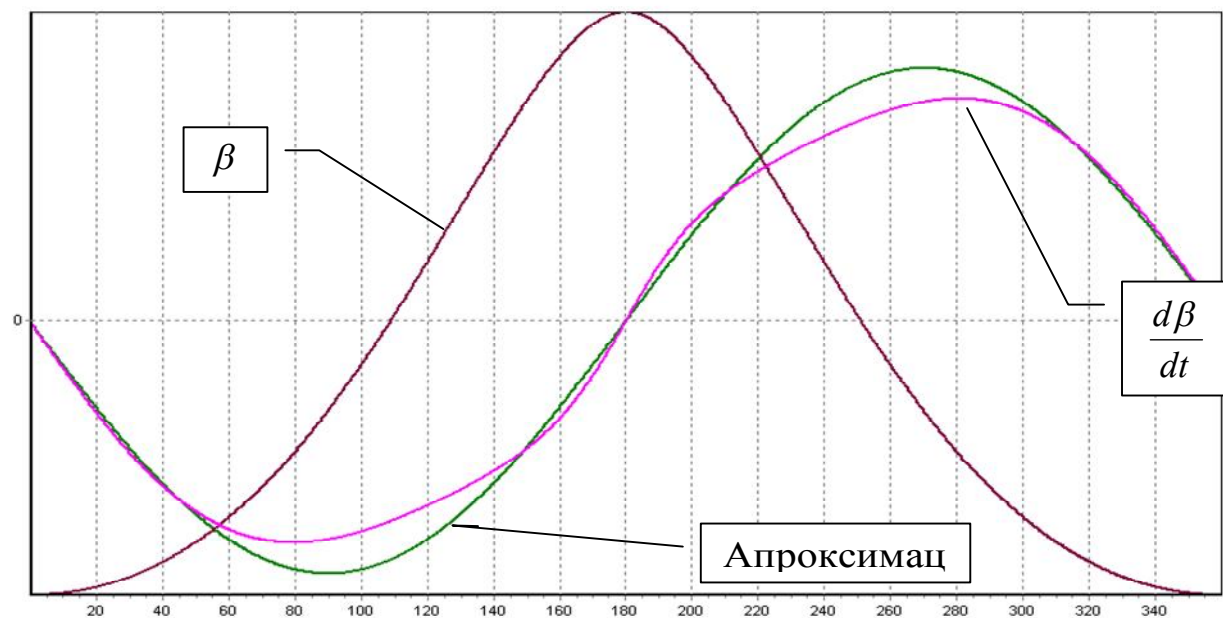


Рис. 3. Зміна кута  $\beta$  і кутової швидкості  $\frac{d\beta}{dt}$  від кута повороту ведучої ланки (при  $\alpha = 100^\circ$ ,  $\gamma = 50^\circ$ ,  $\omega = 1$ ).

Отримана формула (7) досить складна для аналізу, тому побудуємо графіки, які показують зміну кутової швидкості ковзання сфер поверхнею глобоїда (рис. 1 - 3).

На рис. 2 і 3 зображено криву, яка пропонується для апроксимації дійсної залежності швидкості від кута повороту у вигляді

$$\beta = \frac{\gamma}{2} \omega \sin(\omega t) \quad (8)$$

Як видно із графіків, при кутах  $\alpha \geq 140^\circ$  і  $\gamma \leq 20^\circ$  крива, яка апроксимує формулу (7) майже не відрізняється від дійсної залежності. Її можна використати для аналізу коефіцієнта корисної дії передачі.

При збільшенні кута відхилення  $\gamma$  та зменшенні кута охоплення  $\alpha$  (рис. 2, 3) апроксимаційна формула значно відхиляється від виразу (7), але загальні висновки, що будуть отримані з використанням апроксимаційної формули (8), будуть справедливими і для цих випадків.

Загальний коефіцієнт корисної дії передачі можна записати у вигляді:

$$\eta = \frac{T_2 \omega}{T_1 \omega} = \frac{T\omega - 2FR\beta}{T\omega + 2FR\beta} \quad (9)$$

У випадку застосування апроксимаційної формули вираз (9) набуде вигляду:

$$\eta = \frac{2 \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) - |\mu\gamma \sin(\omega t)|}{2 \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) + |\mu\gamma \sin(\omega t)|} \quad (10)$$

Формула (10) дає миттєве значення коефіцієнта корисної дії в залежності від кута повороту. Графік к.к.д. зображено на рис. 4.

З виразу (10) випливає, що у карданному шарнірі може відбутись заклинювання, коли чисельник у формулі к.к.д. стане від'ємним. Числове значення кута відхилення  $\gamma$ , отримане із формули (10), дозволяє визначити співвідношення між параметрами карданного шарніра,

щоб уникнути заклинювання:

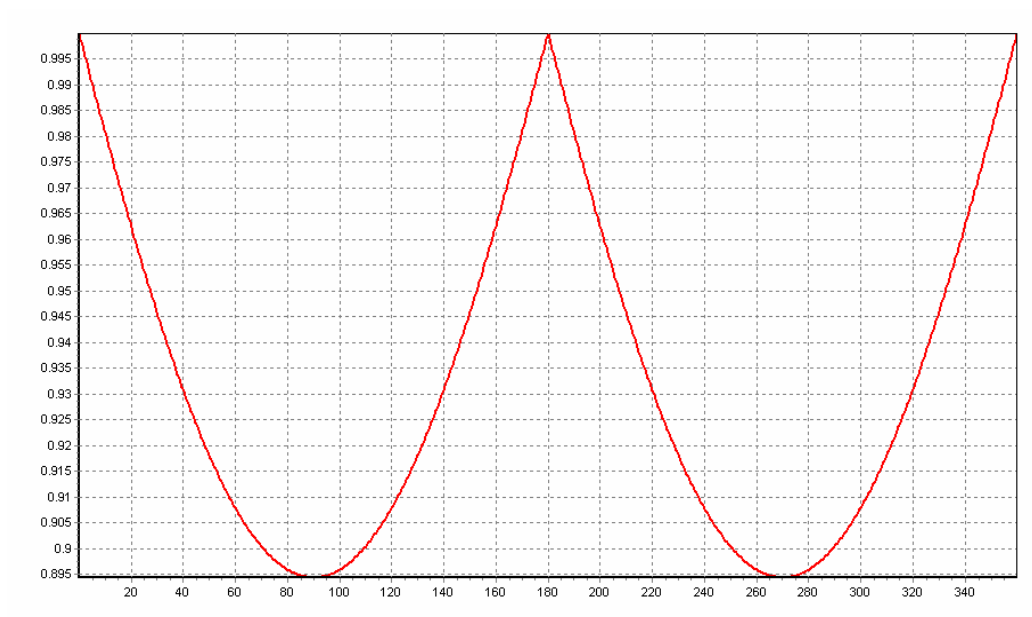
$$\gamma \leq \frac{2 \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{\mu} \quad (11)$$

Отже, чим більший коефіцієнт тертя і менший кут охоплення вилкою глобоїдного сухаря, тим гірші умови роботи карданного шарніра, менший к.к.д. і малий допустимий кут відхилення веденої ланки.

Усереднений коефіцієнт корисної дії визначається як інтеграл з формули (1) за часом на половині періоду обертання з підстановкою у формулу (9):

$$\bar{\eta} = \frac{\pi \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) - \mu\gamma}{\pi \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) + \mu\gamma} \quad (12)$$

Величина, обчислена за формулою (12) дає можливість оцінити ефективність роботи карданного шарніра на цілому періоді обертання і вказує шляхи до підвищення к.к.д.



**Рис. 4. Графік к.к.д. сферо-глобoidного сухарного синхронного карданного шарніра при  $\mu=0,3$ ,  $\alpha = 140^\circ$ ,  $\gamma = 20^\circ$**

#### **Висновки**

Запропонована методика обчислення к.к.д. сферо-глобoidного сухарного синхронного карданного шарніра дає можливість забезпечувати підвищення к.к.д. в процесі проектування шляхом зменшення кутового відхилення  $\gamma$  і коефіцієнта тертя  $\mu$ , а також збільшення кута охоплення сферичних кулачків  $\alpha$  до максимально можливого. Конструктивне обмеження, що накладається кінематикою запропонованої передачі полягає у тому, що сумарний кут не повинен перевищувати  $90^\circ$ , тобто:  $\frac{\alpha}{2} + \frac{\gamma}{2} \leq 90^\circ$ .

#### **Література**

1. Вахламов В.К. Автомобили: Конструкция и элементы расчета /– М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 480 с
2. Беккер А.Х., Вагнер Н.Р., Вебстер Н.В., Дода Д.Х. и др. Проектирование универсальных шарниров и ведущих валов.-Л.: Машиностроение, Ленингр. отд., 1984. 463 с.