

**ДО ПИТАННЯ ВПЛИВУ ВІДЦЕНТРОВИХ СИЛ НА
НАВАНТАЖЕННЯ В ПРИВОДІ, ОСНАЩЕНОМУ ПЛОСКОЮ
ПЛАНЕТАРНОЮ МУФТОЮ З ДЕБАЛАНСАМИ**

В статті представлено модель планетарної відцентрової муфти з урахуванням дії відцентрових сил, які формують обертовий момент на центральному веденому колесі, і відцентрових сил, які створюють обертовий момент, що діє на ведуче водило і привідний двигун. Наведено умову усунення негативного впливу на навантаження в елементах приводу відцентрових сил, які діють на дебаланси при їх обертанні відносно осей сателітів.

G. Nagornyak

**ON THE PROBLEM OF CENTRIFUGAL FORCES EFFECT
ON THE STRESS IN THE DRIVE EQUIPPED WITH THE PLANE
PLANETARY DEBALANCED CLUCH**

The model of the planetary centrifugal coupling, taking into account the centrifugal forces which create the torque on the centrifugal driving wheel and centrifugal forces, which create the torque acting on the steering arm and driving engine, is presented in the article. The condition of ilimination of the undesiarable effect on the loading in the centrifugal forces elements driving, which effect the debalances while rotating over the satelites axis is found.

У різних галузях техніки знаходять широке застосування відцентрові муфти [1], які служать для автоматичного з'єднання або роз'єднання валів при досягненні ведучим валом заданої кутової швидкості. За видом робочого елемента такі муфти поділяють на колодкові і з сипким робочим тілом.

У міру розгону приводу відцентрові сили притискають колодки до робочої поверхні веденої півмуфти, внаслідок чого виникають сили тертя.

Недоліком даних муфт є неможливість отримання при перевантаженні приводу постійного обертового моменту внаслідок зміни коефіцієнта тертя в широкому діапазоні.

Сучасні виробництва передбачають збільшення швидкості робочих органів машин. Це стосується відцентрових інерційних дробарок, агрегатів для струшування плодів, швидкохідних гвинтових конвеєрів, зокрема гнучких шнеків, та багато інших машин, в яких кутова швидкість робочих органів перевищує $\omega > 80\text{с}^{-1}$.

Актуальною задачею сучасного машинобудування є розроблення нових конструкцій планетарних відцентрових муфт, які б поєднували в собі властивості пускових і запобіжних муфт.

При розробці таких муфт важливим питанням є значення обертових моментів, які формуються на центральному веденому колесі і ведучому водилі.

В роботі [2] наведено конструкцію планетарної відцентрової муфти з барабанами і одинарними лопатями. В даній муфті в середині барабана розміщений сипкий матеріал. У встановленому режимі роботи лопать і сипкий матеріал працюють як звичайна незрівноважена маса. При перевантаженні ведуче водило муфти продовжує обертатися в попередньому напрямку, а сателіти перекочуються по центральному веденому колесі, обертаючи при цьому барабани з лопатями і сипким матеріалом. Недоліком такої муфти є неможливість отримання при перевантаженні приводу обертового моменту, близького до постійного значення.

В роботі [3] наведено закономірності зміни обертового моменту на центральному веденому колесі муфти, однак у представленій узагальненій моделі структурного синтезу планетарних відцентрових муфт не враховані відцентрові сили,

які виникають при обертанні дебалансів відносно осей сателітів, а їх вплив для окремих конструкцій приводить до погіршення умов експлуатації приводу.

Тому метою роботи є покращення умов експлуатації приводу, оснащеного плоскою планетарною муфтою з дебалансами з урахуванням усіх відцентрових сил, які діють на дебаланси.

Робота виконується в рамках пріоритетних напрямків розвитку науки і техніки “Новітні та ресурсозберігаючі технології в промисловості, енергетиці та агропромисловому комплексі” на 2002-2006 роки.

На рис.1. наведено модель двосателітної муфти. На ведучому водилі 1, яке обертається з кутовою швидкістю ω_B , рівномірно по колу на сателітних валах 2 жорстко встановлені сателіти 3 з кількістю зубців Z_1 , які перебувають в зачепленні з центральним веденим колесом 4 з кількістю зубців Z_2 . На цих валах на підшипниках ковзання встановлені монолітні дебаланси 5 з центрами мас C_1 і C_2 . Крім цього, на сателітних валах жорстко встановлені повідці муфти з повідцями 6 для взаємодії з монолітними дебалансами 5 масою m_d .

При обертанні ведучого водила 1 з кутовою швидкістю ω_B на кожен з дебалансів 5 діє відцентрова сила F_{no1} відносно осі обертання водила (т. O_1), а внаслідок їх обертання відносно осей сателітів (сателітних валів), тобто т. O_2 , на кожен з дебалансів діє відцентрова сила F_{no2} .

Від дії відцентрових сил F_{no1} виникає обертовий момент T_M планетарної відцентрової муфти, який формується на центральному веденому колесі 4. Обертовий момент T_{c1} , який створюється на сателіті відцентровою силою F_{no1} , становитиме [4]:

$$T_{c1} = m_d \cdot \omega_B^2 \cdot r_c \cdot R_o \cdot \sin \varphi_c, \quad (1)$$

де r_c – радіус розміщення центра мас дебалансу 5 відносно осі обертання сателіта (т. O_2); R_o – відстань між осями обертання центрального веденого колеса 4 (водила 1) і сателіта 3; φ_c – кут повороту сателіта відносно початкового положення (осі O_1Y).

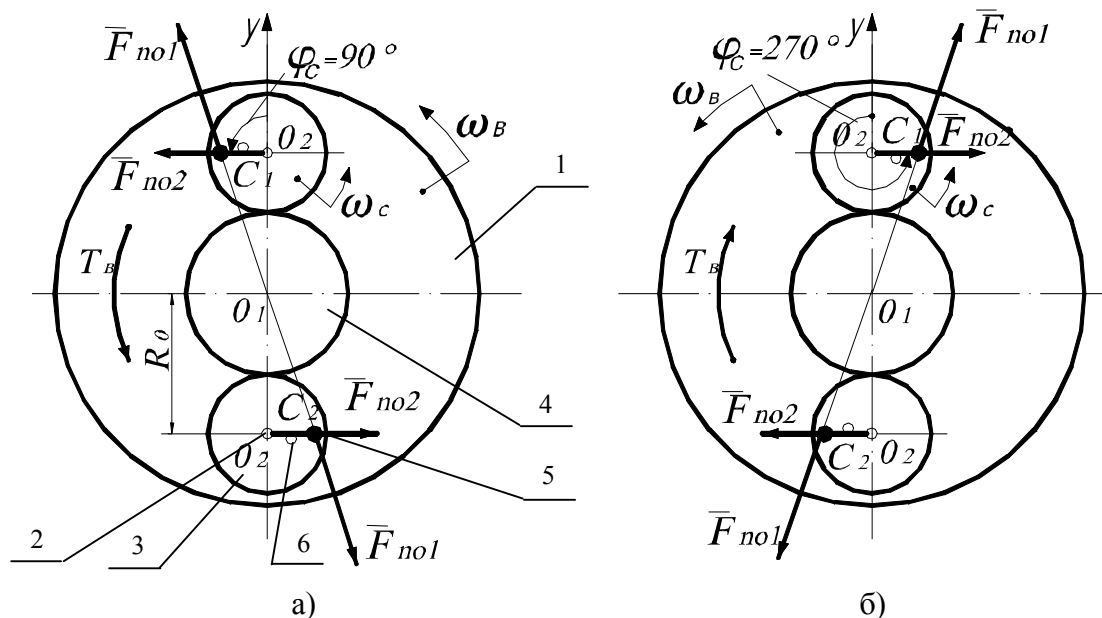


Рисунок 1 – Модель двосателітної планетарної відцентрової муфти.

Максимальний момент T_{c1max} виникає при $\varphi_c = 90^0$ (рис.1, а) і визначається з виразу:

$$T_{c1max} = m_d \cdot \omega_B^2 \cdot r_c \cdot R_o. \quad (2)$$

Оскільки на другій половині кожного оберту сателіта (рис.1, б) відцентрова сила F_{no1} змінює напрям своєї дії відносно його осі (т. O_2), а обертовий момент рівний нулю (через припинення дії силового зв'язку між повідцем 6 і дебалансом 5), то обертовий момент, який створюється на центральному веденому колесі залежно від кута повороту

сателіта φ_c визначається за залежністю

$$T_{m1} = T_{c1max} \cdot \frac{Z_2}{Z_1} \left(\frac{\sin \varphi_c + |\sin \varphi_c|}{2} \right). \quad (3)$$

При цьому обертові моменти, які створюються на сателітах, у загальному випадку для n сателітів становитимуть:

$$\begin{aligned} T_{c1} &= T_{c1max} \cdot \left(\frac{\sin \varphi_c + |\sin \varphi_c|}{2} \right); \\ T_{c2} &= T_{c1max} \cdot \left(\frac{\sin(\varphi_c + \varphi_{c2}^*) + |\sin(\varphi_c + \varphi_{c2}^*)|}{2} \right); \\ T_{c3} &= T_{c1max} \cdot \left(\frac{\sin(\varphi_c + \varphi_{c3}^*) + |\sin(\varphi_c + \varphi_{c3}^*)|}{2} \right); \\ &\dots \\ T_{cn} &= T_{c1max} \cdot \left(\frac{\sin(\varphi_c + \varphi_{cn}^*) + |\sin(\varphi_c + \varphi_{cn}^*)|}{2} \right). \end{aligned} \quad (4)$$

Таким чином у результаті математичного моделювання процесу формування обертового моменту T_{Mn} на центральному веденому колесі його значення можна представити так:

$$T_{Mn} = \frac{Z_2}{Z_1} \cdot (T_{c1} + T_{c2} + T_{c3} + T_{c4} + \dots + T_{cn}). \quad (5)$$

У кінцевому рахунку обертовий момент муфти T_{Mn} на центральному веденому колесі муфти в процесі пуску, перевантаження і зупинки приводу визначається за формулою:

$$\begin{aligned} T_{Mn} &= \frac{m_d \cdot \omega_d^2 \cdot r_c \cdot R_0 \cdot Z_2}{2 \cdot Z_1} \cdot [\sin \varphi_c + |\sin \varphi_c| + \sin(\varphi_c + \varphi_{c2}^*) + |\sin(\varphi_c + \varphi_{c2}^*)| + \\ &+ \sin(\varphi_c + \varphi_{c3}^*) + |\sin(\varphi_c + \varphi_{c3}^*)| + \sin(\varphi_c + \varphi_{c4}^*) + |\sin(\varphi_c + \varphi_{c4}^*)| + \dots + \\ &+ \sin(\varphi_c + \varphi_{cn}^*) + |\sin(\varphi_c + \varphi_{cn}^*)|]. \end{aligned} \quad (6)$$

Дана залежність дає можливість встановити характер зміни моменту при довільній кількості сателітів, що важливо при дослідженні динаміки приводу в цілому.

Значення кутів φ_{c2}^* послідовного колового зміщення відносно осі O_1Y центра мас S_2 наступного дебалансу відносно центра мас S_1 попереднього дебалансу (при миттєвому початковому значенні $\varphi_{c1}^* = 0$, коли центр мас S_1 першого дебалансу збігається з віссю O_1Y), рівне $\varphi_{c2}^* = 2\pi/n$; і при цьому $\varphi_{c3}^* = 2 \cdot \varphi_{c2}^*$; $\varphi_{c4}^* = 3 \cdot \varphi_{c2}^*$, $\varphi_{cn}^* = (n-1) \cdot \varphi_{c2}^* = \frac{2(n-1) \cdot \pi}{n}$.

З практичної токи зору, для формування обертового моменту муфти, близького до сталого значення, найкращою є шестисателітна муфта з $\varphi_{c2}^* = 120^\circ$.

Схема дії відцентрових сил F_{no1} і F_{no2} для такої муфти та характер зміни обертового моменту T_{M6} на її центральному веденому колесі під час дії перевантаження наведено відповідно на рис.2 та рис.3.

У результаті для $\varphi_c = 90^\circ$ $T_{M6max} = 2 \cdot T_{M1max}$, а співвідношення T_{M6max} до T_{M6min} становить 1,14 за повної збалансованості конструкції.

Від дії раніше відмічених відцентрових сил F_{no2} виникає знакозмінний обертовий момент T_e , який діє на ведуче водило 1 (рис.1) і привідний двигун для наведеної схеми двосателітної муфти.

Відцентрова сила F_{no2} , що виникає під час пуску приводу, дії перевантаження та зупинки приводу, визначається з добутку

$$F_{no2} = m_o \cdot \omega_c^2 \cdot r_c . \quad (7)$$

Дія відцентрової сили F_{no2} не впливає на обертовий момент муфти T_M , а створює при використанні окремих конструкцій муфт знакозмінний обертовий момент на ведучому водилі 1, приводячи при цьому до перевантаження двигуна і збільшення амплітуди і частоти коливань як ведучого водила, так і інших елементів приводу.

Протягом кожного оберту сателіта на ведучому водилі з боку сили F_{no2} передається обертовий момент T_e , величина якого дорівнює:

$$T_e = m_o \cdot \omega_c^2 \cdot r_c \cdot R_o \cdot \sin \varphi_c . \quad (8)$$

З точки зору динаміки приводу, важливою умовою зменшення навантажень в елементах приводу є відсутність дії на ведуче водило і двигун обертового моменту T_e від дії відцентрових сил F_{no2} з боку кожного дебалансу.

З урахуванням того, що в муфтах може бути використана різна кількість сателітів (дебалансів) ($n=2; 4; 6; 8; 10$ і т.д.), а відносні кутові положення їх центрів мас можуть відрізнятися, умова усунення негативного впливу сил F_{no2} на ведуче водило і привідний двигун має такий вигляд:

$$T_e = T_{e1} + T_{e2} + T_{e3} + \dots + T_{en} = 0 , \quad (9)$$

де $T_{e1}, T_{e2}, T_{e3}, \dots, T_{en}$ – відповідно обертові моменти, які виникають на водилі від дії відцентрових сил F_{no2} з боку першого, другого, третього і решти n дебалансів.

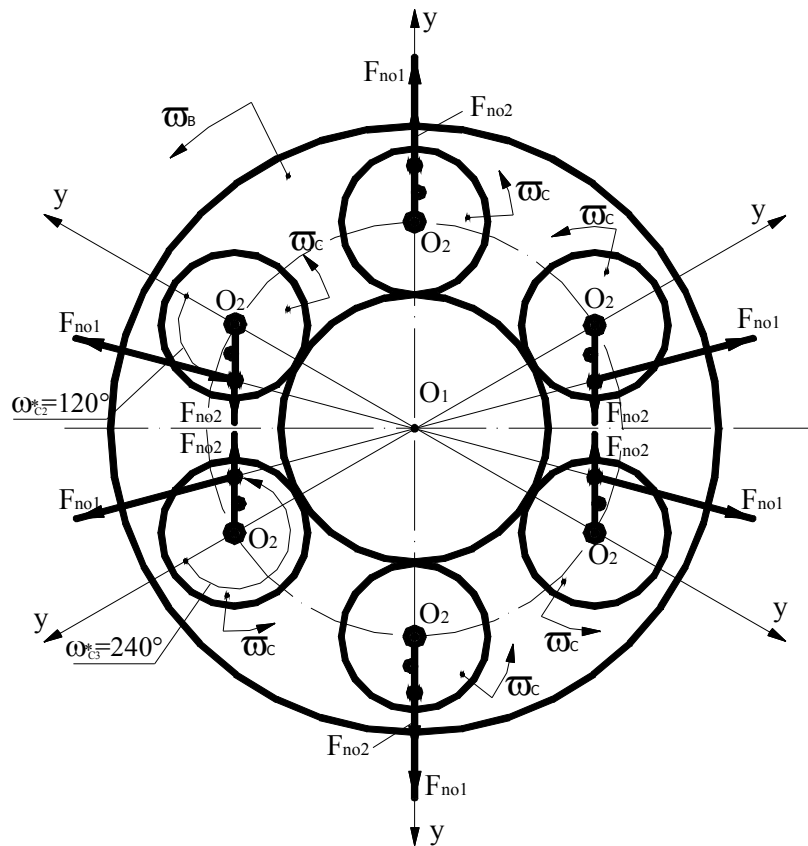


Рисунок 2 – Схема шестисателітної муфти з з $\varphi_{c2}^* = 120^\circ$.

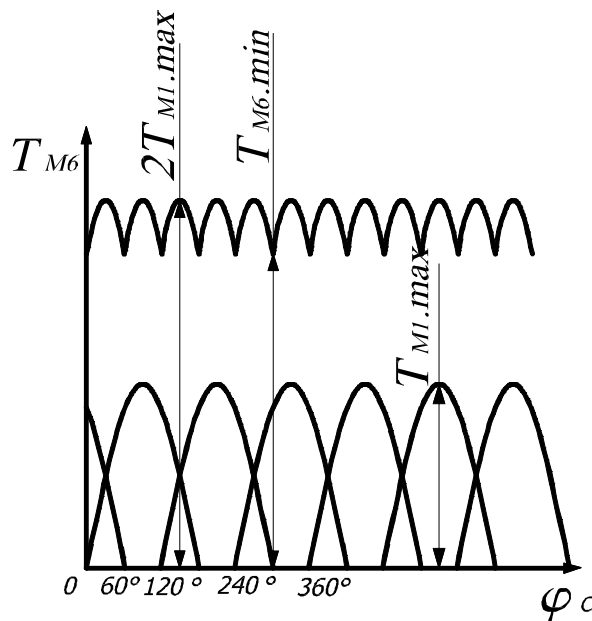


Рисунок 3 – Характер зміни обертового моменту T_{M6} при перевантаженні.

Дана умова дає можливість покращити роботу приводу в цілому. У результаті проведеного аналізу динаміки приводу з розробленими планетарними відцентровими муфтами встановлено, що наведена вище умова повністю забезпечується для чотирисателітної муфти з $\varphi_{c2}^* = 180^\circ$, шестисателітної муфти з $\varphi_{c2}^* = 120^\circ$ і восьмисателітної муфти з $\varphi_{c2}^* = 90^\circ$.

Підтвердженням цього є те, що для чотирисателітної муфти з $\varphi_{c2}^* = 180^\circ$ величина обертового моменту T_e дорівнює:

$$T_e = m_o \cdot \omega_c^2 \cdot r_c \cdot R_o \cdot (\sin \varphi_c + \sin(\varphi_c + 180^\circ)) = 0. \quad (10)$$

Однак у зв'язку з тим, що обертовий момент муфти T_{M4} , який формується на центральному веденому колесі, змінюється за пульсуючим законом, то дану муфту раціонально використовувати переважно в якості імпульсного механізму.

Для шестисателітної муфти з $\varphi_{c2}^* = 120^\circ$ (рис.2) величина обертового моменту T_e визначається так:

$$T_e = m_o \cdot \omega_c^2 \cdot r_c \cdot R_o \cdot (\sin \varphi_c + \sin(\varphi_c + 120^\circ) + \sin(\varphi_c + 240^\circ)) = 0. \quad (11)$$

Таким чином, шестисателітна муфта з $\varphi_{c2}^* = 120^\circ$ як з точки зору характеру зміни обертового моменту T_{M6} , так і за відсутності дії на ведуче водило і привідний двигун обертового моменту T_e є раціональним технічним рішенням з урахуванням собівартості її виготовлення по відношенню до муфт з більшою кількістю сателітів.

У результаті проведених досліджень можна зробити наступні **ВИСНОВКИ**:

1. Отримана аналітична залежність (6) для визначення обертового моменту T_{Mn} на центральному веденому колесі при пуску, перевантаженні і зупинці приводу дає можливість встановити характер зміни моменту при довільній кількості сателітів, що важливо при дослідженні динаміки приводу в цілому.

2. При дослідженнях планетарних відцентрових муфт обов'язковим є врахування дії відцентрових сил F_{no1} і F_{no2} .

3. З урахуванням того, що в муфтах може бути використана різна кількість дебалансів, а відносні кутові положення їх центрів мас можуть відрізнитися, наведено умову (9) усунення негативного впливу відцентрових сил F_{no2} на ведуче водило і привідний двигун, яка дає можливість покращити роботу приводу в цілому.

4. Раціональним технічним рішенням, з точки зору забезпечення формування на центральному веденому колесі муфти обертового моменту T_{Mn} , близького до сталого

значення (при перевантаженні приводу) і відсутності дії на ведуче водило і привідний двигун обертового моменту T_e від дії відцентрових сил F_{no2} , є плоска шестисателітна муфта з кутом $\varphi_{c2}^* = 120^0$.

Література

1. Поляков В.С., Барбаш И.Д., Ряховский О.А. Справочник по муфтам. –Л.:Машиностроение, 1979. – 344 с.
2. А.с. 611049 СССР МКИ F16D43/20 Упруго-предохранительная центробежная муфта / Б.А.Лабковский, Е.М.Волчков (СССР), – №1743499/27. Заявлено 02.02.78. Опубл. 16.06.78, Бюл.№22, 1978.
3. Нагорняк Г. Закономірності зміни обертового моменту на центральному веденому колесі розроблених планетарних відцентрових муфт//Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 2004. – Т.9, №1. – С.71-81.
4. Нагорняк Г. Визначення навантажувальної здатності планетарних запобіжних муфт // Машинознавство. – 2003. – №2. – С.51-54.

Одержано 12.05.2006 р.