

ДИНАМІЧНІ ЯВИЩА В ПРИВОДАХ З КУЛЬКОВИМИ ОБГІННИМИ МУФТАМИ

¹Національний університет „Львівська політехніка”

²Одеський національний політехнічний університет

***Анотація.** Розглянуто коливні явища у механічному приводі з новою кульковою обгінною муфтою для піднімання висотних споруд. Запропоновано розрахункову динамічну схему та математичну модель, що описує залежності основних навантажувальних чинників системи з визначенням максимально допустимого обертового моменту, який спроможна передавати кулькова обгінна муфта зі згладжуванням максимальних значень робочих навантажень.*

Ключові слова: динаміка, приводи, муфти, обгінні муфти.

У приводах механізмів і машин з традиційними обгінними муфтами коливання обертового моменту двигунів частково згладжується за рахунок проковзування роликів по поверхнях півмуфт, що приводить до інтенсивного їх спрацювання та зменшення терміну роботи [1-5]. Процес проковзування завжди прогресує під час підймання висотних споруд, наприклад, бурових вишок, що зібрані на поверхні землі. Тому в процесі пошуку з покращення функціонування цих пристроїв розроблено кулькові обгінні муфти [6-18]. На даний час існують описи конструкцій нових муфт, проведено дослідження геометричних, кінематичних, силових параметрів [19-21], розроблено методики розрахунку міцності їх основних елементів [22-23]. Тут наводяться деякі результати досліджень цих муфт питання щодо динамічних явищ у приводах з муфтами нового типу, коли навантаження передається не за рахунок тертя між роликами та поверхнями півмуфт, а зачепленням кульок з півмуфтами. Однак встановлено, що в кінці процесу зачеплення повністю виключити нерівномірність руху практично неможливо. Особливо у приводах, що дуже схильні до виникнення коливань з причини їх геометричних параметрів особливо висотних споруд. Це і спонукало проведення дослідження коливних явищ у механічному приводі з новою кульковою обгінною муфтою з визначенням максимально допустимого обертового моменту, який може нею передаватися.

Об'єктом дослідження вибрано конструкцію кулькової обгінної муфти, що розроблена на рівні патентів з обґрунтуванням її геометричних [6-18] та силових параметрів [19-23] у статичній постановці задачі. Однак, зі збільшенням швидкостей руху елементів привода можливі поштовхи чи удари, тому існуючі розв'язки цих задач є істотно недостатніми. Першою чергою це для неусталених режимів роботи, під час яких неможливо уникнути коливних явищ з боку висотної споруди, що часто приводить до значних перевантажень елементів системи. Однак, отримані результати в статичній постановці [19-23] є підґрунтям для проведення досліджень динамічних явищ з метою визначення величини збільшення навантажень робочих елементів муфт та інших елементів пружної системи під час коливань.

Для розв'язку поставленої задачі спочатку проведено аналіз режимів руху частин механічного привода з кульковими обгінними муфтами з теоретичним визначенням закономірностей цього руху, враховуючи рушійні сили та маси елементів при односторонній пов'язі між ними. Для спрощення розв'язку задачі припускаємо, що [23]: муфта надійно вмикається всіма кульками одночасно; робочі деталі є абсолютно жорсткими та пов'язані між собою невагомими пружними ланками; втрати енергії на тертя кульки під час вмикання порівняно з корисним навантаженням є малими та ними можна знехтувати.

Колівні явища можливі також внаслідок імовірності появи неточностей виготовлення та монтажу кулькових обгінних муфт, що передають обертовий момент не за рахунок тертя, а зачепленням кульок з пазами напівмуфт.

Враховуючи специфіку привода та нехтуючи величиною розсіювання енергії, дану систему зведено до динамічної розрахункової схеми, що наведена на рис. 1.

Наявність початкового зазору між кульками та периферійними кінцями робочих пазів веденої напівмуфти уможливорює виділення із загальної розрахункової схеми (рис.1) підсистеми, що включає в себе ведучу масу із зведеним моментом інерції I_1 , ведену масу з моментом інерції I_2 , що зв'язані між

собою невагомою пружною ланкою, жорсткість якої C_1 . Така постановка задачі базується на класичній теорії динаміки машин [24-25].

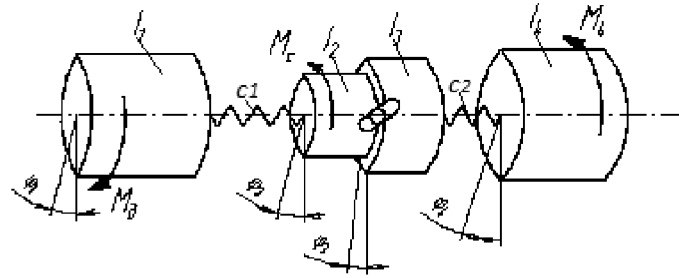


Рис. 1. Розрахункова схема привода з кульковою обгінною муфтою

Тоді математична модель руху мас для першого етапу піднімання має вигляд (1):

$$\begin{aligned} I_1 \ddot{\phi}_1 + C_1 (\phi_1 - \phi_2) &= M_\delta; \\ I_2 \ddot{\phi}_2 - C_1 (\phi_1 - \phi_2) &= -M_c, \end{aligned} \quad (1)$$

де ϕ_1, ϕ_2 , – кутові переміщення відповідних мас; M_δ – рушійний момент і M_c - момент опору з боку другої частини системи.

Помноживши перше рівняння (1) на I_2 , а друге – на I_1 і склавши їх, зводимо початкову систему до одного рівняння вигляду

$$I_1 I_2 (\ddot{\phi}_1 - \ddot{\phi}_2) + C_1 (I_1 + I_2) (\phi_1 - \phi_2) = M_\delta I_2 + M_c I_1, \quad (2)$$

або, після заміни $\phi_1 - \phi_2 = \phi$, до більш простого вигляду

$$\ddot{\phi} + k^2 \phi = M_\delta / I_1 + M_c / I_2, \quad (3)$$

де $k^2 = \frac{C_1 (I_1 + I_2)}{I_1 I_2}$ - стала величина для даного привода.

Тепер розв'язок рівняння (3) запишеться наступним рівнянням [22]

$$\phi = A \sin kt + B \cos kt + \frac{M_\delta I_2 + M_c I_1}{I_1 I_2}. \quad (4)$$

Слід зауважити, якщо відлік часу проводити з початку руху ведучої маси, то початковими умовами будуть сталі інтегрування: $t=0; \phi=0; \dot{\phi}=0$. За цими початковими умовами матимемо

$$A = 0; B = -\frac{M_\delta I_2 + M_c I_1}{C_1 (I_1 + I_2)}, \quad (5)$$

а деформація пружної ланки запишеться у вигляді (6)

$$\phi = \frac{M_\delta I_2 + M_c I_1}{C_1 (I_1 + I_2)} (1 - \cos kt). \quad (6)$$

Із (6) очевидно, що максимально можлива деформація пружної ланки на кінець першого етапу піднімання описується рівнянням (7)

$$\phi_{\max} = \frac{2(M_\delta I_2 + M_c I_1)}{C_1 (I_1 + I_2)}, \quad (7)$$

а максимальне динамічне навантаження – рівнянням (8)

$$M_{\max 1} = \frac{2(M_\delta I_2 + M_c I_1)}{I_1 + I_2}. \quad (8)$$

Тепер можемо записати переміщення ведучої маси від її початку руху до моменту дотику кульок до кінців пазів веденої півмуфти у вигляді рівняння (9)

$$\phi_1 - \phi_2 = M_c / C_1 + d + a, \quad (9)$$

де $\frac{M_c}{C_1}$ – деформація пружної ланки; d – діаметр кульок; a – початкове віддалення точки дотику

кульки від пазу веденої півмуфти, $0 \leq a \leq a_{\max}$ (рис. 1).

Початкове взаємне положення кульок і пазів може бути різним, тому значення відстані a може

змінюватись и час вмикання муфти є також величиною змінною, тобто маємо:

$$t_{\min} \leq t \leq t_{\max};$$

$$t_{\min} = \arccos \left[1 - \frac{(M_c + dC_1)(I_1 + I_2)}{M_o I_2 + M_c I_1} \right] / k; \quad (10)$$

$$t_{\max} = \arccos \left[1 - \frac{(M_c + a_{\max} C_1 + dC_1)(I_1 + I_2)}{M_o I_2 + M_c I_1} \right] / k, \quad (11)$$

$$\text{де } k = \sqrt{\frac{C_1(I_1 + I_2)}{I_1 I_2}}.$$

Враховуючи специфічність конструкції щодо передавання руху тільки в одному напрямку подальший аналіз динамічних явищ можна проводити для другої частини системи, до якої прикладається M_{\max} з початковою швидкістю, яку дістанемо після диференціювання рівняння (4)

$$\phi' = \frac{(M_o I_2 + M_c I_1)k}{C_1(I_1 + I_2)} \sin kt. \quad (12)$$

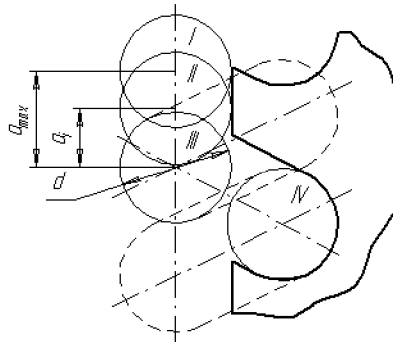


Рис. 2. Можливі положення кульки відносно пазів веденої напівмуфти: I, II, III, IV – відповідно гірше, проміжне, краще і робоче положення кульки

Математична модель руху мас на другому етапі матиме подібний до (1) вигляд

$$I_3 \ddot{\phi}_3 + C_2(\phi_3 - \phi_4) = M_{\max};$$

$$I_4 \ddot{\phi}_4 - C_2(\phi_3 - \phi_4) = -M_4. \quad (13)$$

Подібно до (1), розв'язок системи (13) зводиться до рівняння вигляду

$$\phi_5 = A_1 \sin k_1 t + B_1 \cos k_1 t + \frac{M_{\max} I_4 + M_4 I_3}{C_2(I_3 + I_4)}, \quad (14)$$

де $k_1^2 = \frac{C_2(I_3 + I_4)}{I_3 I_4}$; $\phi_5 = \phi_3 - \phi_4$ – пружна деформація другої ланки, що має жорсткість C_2 (рис. 1). На

другому етапі відлік часу проводиться від початку руху веденої напівмуфти

$$\phi_5 = \phi_{\max}; \quad \dot{\phi}_5 = \frac{(M_o I_2 + M_c I_1)k}{C_1(I_1 + I_2)} \sin kt. \quad (15)$$

За початковими умовами (15), із (14) отримано сталі інтегрування у вигляді:

$$A_1 = 0; \quad B_1 = \frac{2(M_o I_2 + M_c I_1)}{C_1(I_1 + I_2)} - \frac{M_{\max} I_4 + M_4 I_3}{C_2(I_3 + I_4)}.$$

Деформація пружної ланки з жорсткістю C_2 змінюється за закономірністю (16)

$$\phi_5 = (\phi_3 - \phi_4) = \left[\frac{2(M_o I_2 + M_c I_1)}{C_1(I_1 + I_2)} - \frac{M_{\max} I_4 + M_4 I_3}{C_2(I_3 + I_4)} \right] \cos k_1 t + \frac{M_{\max} I_4 + M_4 I_3}{C_2(I_3 + I_4)}, \quad (16)$$

а максимальні динамічні навантаження в кінці другого етапу неусталеного режиму роботи привода механізму підйому висотних споруд визначаються із рівняння (16) і матимуть вигляд

$$M_{\max 2} = \frac{2(M_d I_2 + M_c I_1) C_2}{(I_1 + I_2) C_1}. \quad (17)$$

За отриманими виразами (8) і (17) визначаються максимальні навантаження ланок механізму за відомими його геометричними та жорсткостними параметрами. Це дає можливість здійснювати коректування процесу навантаження ланок механічних приводів великомасових систем ще на стадії проектування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Анурьев В.И. Справочник конструктора машиностроителя / В.И. Анурьев// В 3т.- М.: Машиностроение, 1979-1982. – т.1. – 728с.; т.2.- 559с.; т.3.- 557с.
2. Заблонский К.И. Детали машин / К.И. Заблонский / – К.: Вища школа, Главное изд. 1999. – 518 с.
3. Иванов Е.А. Муфты приводов/ Е.А. Иванов // - М.: Мапгиз, 1959. – 348 с.
4. Малащенко В.О. Муфты приводов. Конструкції та приклади розрахунків / В.О. Малащенко// – Львів, НУ “Львівська політехніка”, 2006. 196 с.; 2009. – 216 с.
5. Мальцев В.Ф. К динамике заклинивания роликовых механизмов свободного хода / В.Ф. Мальцев // Современные проблемы теории машин и механизмов.: Изд-во «Наука», 1965. - С.314-322.
6. А.С. № 1423838, БИ № 34, 1988. Обгонная муфта. /Малащенко В.А., Калинин С.Г., Петренко П.Я. – 6 с.
7. А.С. № 1423839, БИ № 34, 1988. Обгонная муфта./ Малащенко В.А., Калинин С.Г., Петренко П.Я. – 5 с.
8. А.С. № 1691623, БИ № 42, 1991. Обгонная муфта./ Малащенко В.А., Калинин С.Г., Петренко П.Я. – 6 с.
9. А.С. № 1691624, БИ № 42, 1991. Обгонная муфта. /Малащенко В.А., Калинин С.Г., Петренко П.Я. – 4 с.
10. А.С. № 1698520, БИ № 42, 1991. Обгонная муфта./ Малащенко В.А., Рябов В.Г. – 3с.
11. А.С. № 17916442АІ, БИ № 4, 1993. Обгонная муфта./ Малащенко В.А., Калинин С.Г., Петренко П.Я. – 2с.
12. Пат. 28884А Україна, МКИ F16D41/06. Кулькова муфта вільного ходу. / Малащенко В.О., Сороківський О.І. Опубл. 29.123.99. Бюл. № 8.
13. Пат. 29068А Україна, МКИ F16D41/06. Конічна обгінна муфта. / Малащенко В.О., Петренко П.Я., Сороківський О.І. Опубл. 29.123.99. Бюл. № 8.
14. Пат. 32809А Україна, МКИ F16D41/06. Обгінна муфта. / Малащенко В.О., Петренко П.Я., Сороківський О.І. Опубл. 29.123.99. Бюл. № 8.
15. Пат. 45667А Україна, МКИ F16D41/06. Обгінна муфта. / Малащенко В.О., Павлице В.Т., Петренко П.Я., Сороківський О.І. Опубл. 15.04.2002. Бюл. № 4.
16. Пат. 66514А Україна, Запобіжна муфта / Гапчук П.М., Малащенко В.В., Сороківський О.І. Опубл. 2004. Бюл. №5.
17. Пат. 53354А Україна, МКИ F16D41/06. Обгінна муфта / Куновський Г.П., Кравець І.С., Малащенко В.О., Сороківський О.І. Опубл. 15.01.2003. Бюл. № 1.
18. Пат. 56483А Україна, МКИ F16D41/06. Обгінна муфта /Куновський Г.П., Кравець І.С., Малащенко В.О., Сороківський О.І. Опубл. 15.01.2003. Бюл. № 5.
19. Малащенко В.О. Кінематичний аналіз кулькової муфти вільного ходу/ В.О. Малащенко, С.Г. Калінін, О.І. Сороківський // Первый украинский съезд по теории механизмов и машин «ТММ и техносфера Украины XXI века»: Тезисы докладов. – Харьков, 1997. – С. 42 - 48.
20. Малащенко В.О., Янків В.В. Деталі машин. Курсове проектування/ В.О. Малащенко, В.В. Янків//. – Львів, Новий світ – 2000, 2004. – 232с., 2005- - 252 с.
21. Malaschtchenko V. Vol'nobezna qulbekova spojka / V. Malaschtchenko, J. Homuschin, O. Sorokivskiy//.Strojarstvo Srojirenstvi, № 12, 2001. – С.56-58 (Slovinsko).
22. Малащенко В.О. Динамічні явища у приводах транспортних систем з кульковими муфтами вільного ходу/ В.О. Малащенко, В.В. Малащенко, Г.П. Куновський, І.С. Кравець//. Вісн. Східноукраїнського націон. університету. –Луганськ, 2003. – С. 192 – 196.
23. Malaschtchenko V. The Selection of Parameters of a Coaster Ball clutch and Recommendation for its Construction / V Malaschtchenko, O. Sorokivskiy//. Transactions of the Universities of Kosicl, № 2, 2002. – С. 1 – 6 (Slovinsko).
24. Комаров М.С. Динамика механизмов и машин / М.С. Комаров//. – М.: Машиностроение, 1969. – 205с.
25. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике / Г. Корн, Т. Корн//. – М.: Мир, 1970. – 540 с.

Малащенко Володимир Олександрович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри „Теоретична механіка та динаміка машин” Національного університету „Львівська політехніка”, м. Львів, volod.malash@gmail.com

Семенюк Володимир Федорович, доктор технічних наук, професор кафедри підйомно-транспортного і робототехнічного обладнання державного університету „Одеська політехніка”, м. Одеса, onpusemenjuk@gmail.com

Abstract. Oscillatory phenomena in a mechanical drive with a new ball overrunning clutch for lifting high-rise buildings are considered. A calculated dynamic scheme and a mathematical model are proposed, which describes the dependences of the main loading factors of the system with the determination of the maximum allowable torque that can be transmitted by a ball bypass coupling with smoothing of maximum values of working loads.

Keywords: dynamics, drives, couplings, overtaking couplings.

Malashchenko Volodymyr O., Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor, Jefe del Departamento de Mecánica Teórica y Dinámica de Máquinas, Universidad Nacional Politécnica de Lviv, Lviv, volod.malash@gmail.com

Semenyuk Volodymyr F., Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor del Departamento de Elevación, Transporte y Equipos Robóticos, Universidad Estatal Politécnica de Odessa, Odessa, onpusemenjuk@gmail.com