

УДК 62/825

Ю.Гладь, канд.техн.наук; М.Буряк

Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ НИЗЬКОДИНАМІЧНОЇ КУЛЬКОВО-КУЛАЧКОВОЇ ЗАПОБІЖНОЇ МУФТИ

Подано будову та процес роботи розробленої кульково-кулачкової запобіжної муфти. Виведено рівняння руху ведучої півмуфти відносно веденої у процесі буксування. Встановлено вплив конструктивних і кінематичних параметрів муфти на шлях безконтактного відносного прокручування.

Умовні позначення

ρ – зведений кут тертя у парах кулька – лунка та рухомих з'єднаннях півмуфт;
 R – радіус розміщення елементів зачеплення;
 h_{λ} – величина заглиблення лунки у ведену півмуфту;
 φ – кут прокручування півмуфт;
 c – жорсткість пружини;
 m – маса рухомої півмуфти;
 λ – початковий натяг пружини при розміщенні кульок на плоскій поверхні протилежної півмуфти;
 F – сила тертя у шліцах півмуфти;
 μ – коефіцієнт в'язкого тертя;
 h – висота виступу;
 α – кут підйоми на поверхні виступу;
 R_k – радіус кульки;
 V_0 – лінійна швидкість кульки відносно нерухомої півмуфти в напрямку, перпендикулярному до вісі x ;
 γ – частота власних коливань системи;
 A, B – сталі інтегрування;
 t_1 – час першого етапу переміщення рухомої півмуфти;
 t_1 – час першого етапу руху півмуфти;
 t_s – сумарний час перебування півмуфти у вільному польоті;
 L – віддаль, яку проходить півмуфта під час вільного польоту.

Для зменшення ударних навантажень у процесі роботи перевантажених приводів розроблено кулькову запобіжну муфту [1], принципова схема якої показана на рис. 1.

Муфта містить ведучу півмуфту 2, на торцевій поверхні якої закріплені кульки 4, що входять в зачеплення з лунками 4 веденої півмуфти 5, встановленої на ступиці 1 та підтиснутої пружиною 6. На діаметрі розташування кульок і лунок з одного боку кожної лунки на торцевій поверхні веденої півмуфти, виконано виступи 7.

У процесі передачі крутного моменту кульки 3 перебувають у зачепленні з лунками 4 веденої півмуфти 5, що забезпечує синхронність обертання всіх деталей муфти відносно її центральної вісі.

При перевантаженні гальмується ступиця 1 і відповідно ведена півмуфта 5. Ведуча півмуфта 2 при цьому обертається далі, що призводить до виходу із зачеплення з лунками 4 кульок 3. Так відбувається повне розчеплення кінематичного ланцюга у випадку зростання крутного моменту вище від допустимого. При підході кульок 3 до наступних лунок 4 кульки 3 проходять виступи 7, що спричиняє додаткове вісьове переміщення веденої півмуфти 5 у бік регульованої центральної пружини 6 і відповідно її деформацію. При певному співвідношенні конструктивних і кінематичних параметрів муфти (частота обертання муфти, жорсткість пружини 6, її попередній натяг, маса веденої півмуфти 5) кульки 3 проскакують лунки 4 і вдаряються до торцевої поверхні. Проскакування кульками 3 лунок 4 виключає вісьові ривки у процесі буксування муфти, що не призводить до зношення лунок і зменшує ударні навантаження на привід машини.

Відновлення початкового положення муфти досягається зниженням частоти обертання муфти, що приводить до потрапляння кульок 3 до лунок 4 веденої півмуфти 5, оскільки зменшується шлях відносного обертання півмуфт до контакту кульок 3 із торцевою поверхнею веденої півмуфти 5.

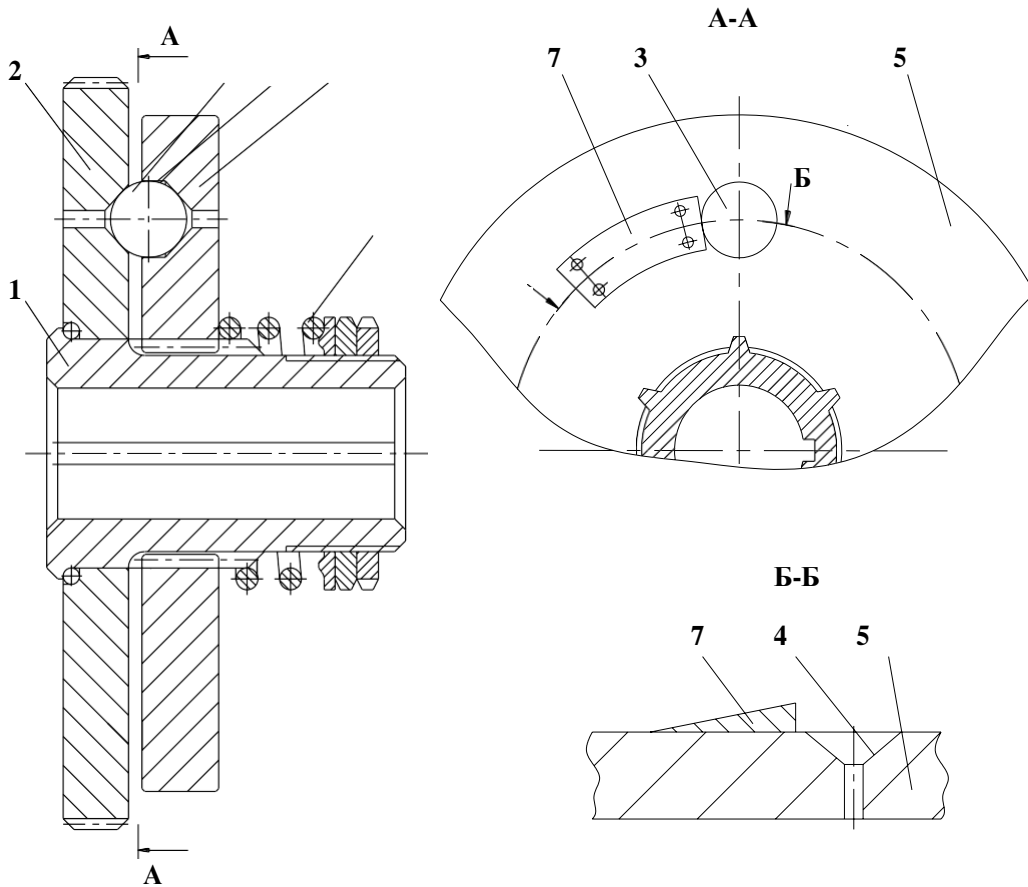


Рис. 1. Кулькова запобіжна муфта.

Метою динамічного розрахунку є підбір таких параметрів муфти, при яких кульки з торцевою поверхнею півмуфти повторно стикаються у площині між лункою і наступним похилим виступом.

Розглянемо рух півмуфти з кульками після від'єднання від похилого виступу (Рис. 2) в процесі спрацювання муфти внаслідок перевантаження [2]. Вважаємо, що кутова швидкість привідної півмуфти ω_0 постійна, а веденої дорівнює нулеві. На півмуфту в процесі вільного польоту до моменту контакту з поверхнею веденої півмуфти діють сили пружності, сухого та в'язкого тертя. Запишемо рівняння руху привідної півмуфти у момент відриву від виступу вздовж вісі x , спрямована паралельно до вісі привідного вала та відраховується від плоскої поверхні протилежної півмуфти:

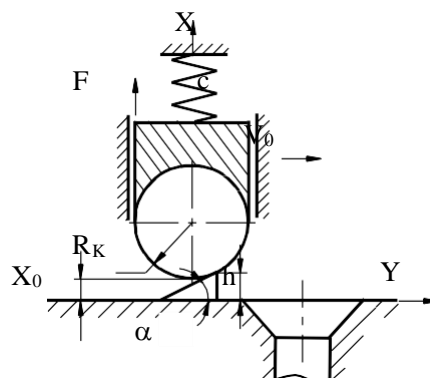


Рис. 2. Схема механізму розтиску півмуфти.

$$m\ddot{x} = -c(x + \lambda_0) - \mu\dot{x} - F \operatorname{sgn}(x). \quad (1)$$

Початкові умови руху (при $t = 0$):

$$x(0) = h - R_k(1 - \cos\alpha); \quad (2)$$

$$\dot{x}(0) = V_0 \tan\alpha, \quad (3)$$

де $V_0 = \omega_0 R_m$ - лінійна швидкість кульки відносно нерухомої півмуфти у напрямку, перпендикулярному до вісі x .

Внаслідок наявності у правій частині рівняння нелінійної функції зміни знаку $\operatorname{sgn}(x)$ доцільно розглянути розв'язок рівняння, складений з двох частин: рух у напрямі вісі ($x > 0$) та рух у протилежному напрямку ($x < 0$). Розв'язок кожного з рівнянь аналогічний, але відрізняється знаком сили тертя.

Перший етап руху описується рівнянням:

$$m\ddot{x} = -c(x + \lambda_0) - \mu\dot{x} - F, \quad (4)$$

що після перетворень набуває вигляду:

$$m\ddot{x} + \mu\dot{x} + cx = -c\lambda_0 - F. \quad (5)$$

Для розв'язку цього диференціального рівняння необхідно знайти корені відповідного йому характеристичного рівняння

$$mk^2 + \mu k + c = 0.$$

Як правило, при невеликих значеннях коефіцієнта в'язкого тертя μ дискримінант $D = \mu^2 - 4mc$ значно менший від нуля, і розв'язок квадратного рівняння має комплексні корені

$$k_{1/2} = -\frac{\mu}{2m} \pm i \frac{\sqrt{4mc - \mu^2}}{2m}, \quad (6)$$

що вказує на коливний характер руху.

Загальний розв'язок рівняння (5) з врахуванням часткового розв'язку, який залежить від правої частини, виглядає так:

$$x = (A \sin \gamma t + B \cos \gamma t) e^{-\frac{\mu}{2m} t} - \lambda_0 - \frac{F}{c}, \quad (7)$$

$$x = \left[\gamma (A \cos \gamma t - B \sin \gamma t) - \frac{\mu}{2m} (A \sin \gamma t + B \cos \gamma t) \right] e^{-\frac{\mu}{2m} t}, \quad (8)$$

де $\gamma = \frac{\sqrt{4mc - \mu^2}}{2m}$.

Підставимо початкові умови в рівняння (7) і (8) і визначимо сталі інтегрування

$$B = h - R_k(1 - \cos\alpha) + \lambda_0 + \frac{F}{c}, \quad (9)$$

$$A = \frac{V_0 \tan \alpha + \frac{\mu}{2m} B}{\gamma} \quad (10)$$

Рух вздовж вісі триватиме до зупинки півмуфти . Знайдемо час t_1 цього етапу руху, поклавши у рівнянні (8) $x=0$

$$t_1 = \frac{\arctan \left[\frac{A\gamma - \frac{\mu}{2m} B}{\frac{\mu}{2m} A + B\gamma} \right]}{\gamma} \quad (11)$$

За цей час півмуфта переміститься у положення $x_1 = (A \sin \gamma t_1 + B \cos \gamma t_1) e^{-\frac{\mu}{2m} t_1} - \lambda_0 - \frac{F}{c}$.

Отримане значення переміщення (12) у кінці першого етапу руху автоматично стає початковою умовою руху для другого етапу, що описується рівнянням, подібним до (5), але з додатнім значенням сили тертя

$$m\ddot{x} + \mu\dot{x} + cx = -c\lambda_0 + F \quad (13)$$

Відповідно його розв'язок, як і в (7), (8), виглядає так:

$$x = (A \sin \gamma t + B \cos \gamma t) e^{-\frac{\mu}{2m} t} - \lambda_0 + \frac{F}{c} \quad (14)$$

$$x = \left[\gamma (A \cos \gamma t - B \sin \gamma t) - \frac{\mu}{2m} (A \sin \gamma t + B \cos \gamma t) \right] e^{-\frac{\mu}{2m} t} \quad (15)$$

а сталі інтегрування

$$B = x_1 + \lambda_0 - \frac{F}{c} \quad (16)$$

$$A = \frac{\frac{\mu}{2m} B}{\gamma} \quad (17)$$

На другому етапі рух завершиться в момент контакту кульки з поверхнею нерухомої півмуфти, тобто при $x=0$. Підставимо це значення у рівняння (14) і отримаємо трансцендентне рівняння для обчислення часу t_2 тривалості другого етапу

$$\lambda_0 - \frac{F}{c} = \sqrt{A^2 + B^2} \cos \left(\gamma t_2 - \arctan \left(\frac{A}{B} \right) \right) e^{-\frac{\mu}{2m} t_2} \quad (18)$$

Рівняння (18) можна розв'язати з необхідною точністю лише числовим методом. На практиці за перше наближення можна взяти значення, яке отримаємо, поклавши $e^{-\frac{\mu}{2m} t_2} \approx 1$:

$$t_2 \approx \frac{\arccos \left[\frac{\lambda_0 - \frac{F}{c}}{\sqrt{A^2 + B^2}} \right] + \arctan \left(\frac{A}{B} \right)}{\gamma} \quad (19)$$

Дійсне значення t_2 буде більшим залежно від коефіцієнта в'язкого тертя μ .

Сумарний час перебування рухомої півмуфти у вільному польоті становить

$$t_s = t_1 + t_2 \quad (20)$$

За цей час привідна півмуфта переміститься у напрямку обертання відносно кінця виступу на відстань

$$L = V_0 t_s - R_k \sin \alpha = \omega_0 R t_s - R_k \sin \alpha . \quad (21)$$

Визначена відстань має бути більшою, ніж відстань до краю робочої лунки, та лежати в межах демпфуючих пальців.

Для аналізу виведених залежностей складена програма розрахунку на ЕОМ, реалізація якої дозволила встановити залежність відстані L відносного обертання півмуфт до їх повторної взаємодії, часу t_s цього обертання і максимальною основою зміщення півмуфт H_{max} від основних параметрів конструкції муфти (маси рухомої півмуфти m , жорсткості пружини c , кута підйому виступу α , висоти виступу h , початкового натягу пружини λ_0 , радіуса кульки R_k та сили тертя F).

На рис. 3 подані залежності впливу маси рухомої півмуфти m на параметри L , t_s і H_{max} , вони мають явний лінійний характер, причому зростання маси рухомої півмуфти m від 0,5 кг до 3 кг збільшує безконтактне обертання півмуфт від $L = 7$ мм до $L = 43$ мм. Даний параметр є одним з основних, якими можна регулювати необхідний режим роботи муфти.

Аналіз впливу жорсткості центральної пружини C на показники L , t_s і H_{max} показав, що зростання її величини сприяє зменшенню відносного обертання півмуфт L до їх повторного контакту. Залежність $L = f(C)$ має вигляд експоненти, причому максимальні значення L відповідають незначній жорсткості пружини. Необхідно пам'ятати, що даний параметр визначає крутний момент, який передає муфта, повинен у першу чергу, використовуватися для налаштування муфти на її спрацювання при умові виникнення перевантаження.

Кут підйому α виступу в межах від 20° до 70° спричинює лінійне збільшення величини L від 13 до 32 мм і є регульованим параметром (рис. 5). Дальше збільшення $\alpha > 70^\circ$ недоцільне, оскільки виникає явище зворотного відбивання півмуфти, що спричинюватиме підвищені ударні навантаження і значне вісьове зміщення півмуфти, про що свідчить залежність $H_{max} = f(\alpha)$.

З аналізу графічних залежностей впливу висоти виступу h на показники L , t_s і H_{max} (рис. 6) встановлено, що зростання абсолютної величини h призводить до незначного збільшення показників L , t_s і H_{max} . Так, зміна h від 1 мм до 6 мм спричинює зростання L на 15...16%.

При підборі раціональних конструктивних параметрів муфти кут α необхідно узгоджувати з висотою виступу h .

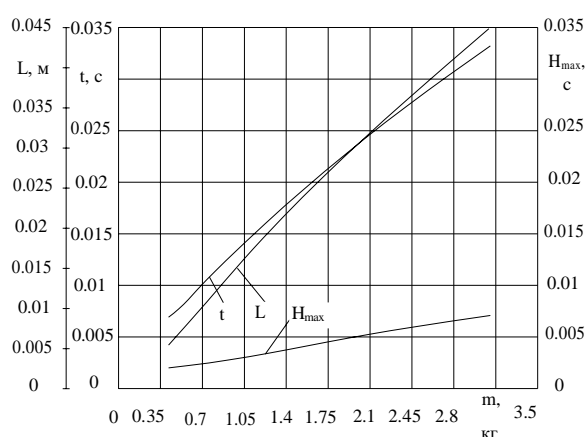


Рис. 3. Залежності впливу маси рухомої півмуфти на показники L , t_s , H_{max} .

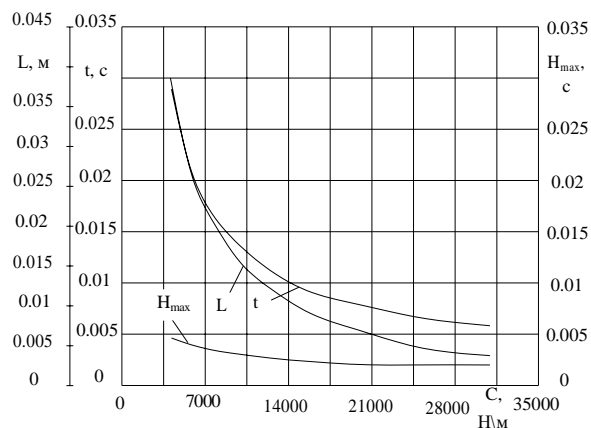


Рис. 4. Залежності впливу жорсткості пружини C на показники L , t_s , H_{max} .

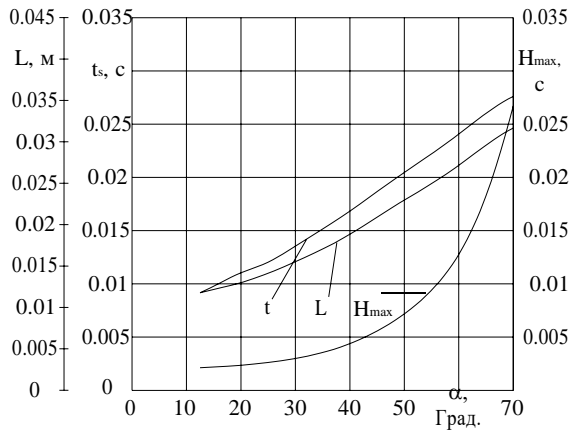


Рис. 5. Залежність впливу кута підйому виступу α на показники L , t_s і H_{max} .

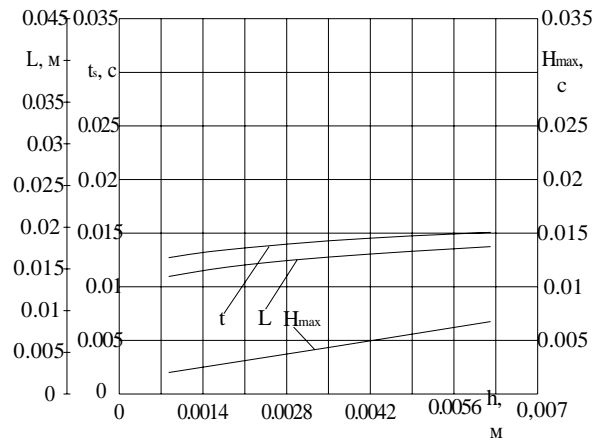


Рис. 6. Залежність впливу висоти виступу h на показники L , t_s і H_{max} .

Вище наведені залежності можуть бути застосовані для підбору раціональних параметрів муфти, виходячи із заданого крутного моменту і їх габаритних розмірів.

Рекомендації щодо вибору раціональних конструктивних параметрів муфти подамо після комплексу експериментальних досліджень.

In clauses process of work developed ball safety devices is considered. The given equations for definition of twisting moment at different stages of its operation. Character of movement is established, during their relative rotation from constructive and kinematics parameters.

Література

1. Декларацийний патент 40989 А, 7 F16D7/06. Запобіжна кулькова муфта / Р.Б. Гевко, М.В. Буряк; Заявлено 22.12.2000; Опубл. 15.08.2001, Бюл.№7.
2. Буряк М.В., Гевко Р.Б. Кінематичний аналіз кулькового запобіжного пристрою з торцевим замиканням елементів зачеплення // Вісник Національного аграрного університету. –2000. Том 4. – С.316-318.

Одержано 27.11.2001 р.