УДК 621.825

В.О. ПРОЦЕНКО
Херсонська державна морська академія

КОНСТРУКТИВНО-СИЛОВІ ПАРАМЕТРИ ФРИКЦІЙНОЇ ВІДЦЕНТРОВОЇ МУФТИ З КАНАТНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ

В роботі запропонована конструкція фрикційної відцентрової муфти з канатними пружними елементами, що нечутлива до неспіввісності за рахунок відсутності надлишкових зв'язків. За рахунок виконання теоретичних досліджень встановлені основні геометричні та силові параметри запропонованої муфти. Зокрема отримано вираз для обчислення моменту тертя муфти та проаналізовано вплив на його величину конструктивних параметрів муфти. Встановлено, що за однакових розмірів та частоти обертання муфта з канатними елементами здатна розвинути момент тертя на 40% менше ніж базова муфта з радіально-рухомими колодками.

Ключові слова: фрикційна муфта, канат, відцентрова сила, момент тертя, навантаження.

V.O. PROTSENKO
Kherson State Maritime Academy

CONSTRUCTIVE-FORCE PARAMETERS OF THE FRICTIONAL CENTRIFUGAL COUPLING WITH ROPE ELEMENTS

The construction of a frictional centrifugal coupling with the rope elastic elements, insensitive to a misalignment at the expense of absence redundant links is offered in the article. At the expense of execution of theoretical researches the basic geometrical and force parameters of the offered coupling are fixed. Expression for evaluation of a friction torque of a coupling is received and influence on its magnitude of design data of a coupling is analyzed. It is determined that at the identical sizes and a rotational speed, the coupling with rope elements is capable to explicate a friction torque on 40 % less than a base coupling with radial mobile carrier sockets.

Keywords: a frictional coupling, a rope, a centrifugal force, a friction torque, a load.

Вступ. В приводах, що часто вмикаються, мають великий момент інерції ведених частин та працюють при різко змінних навантаженнях та небезпечних перевантаженнях застосовуються достатньо прості по будові та надійні в експлуатації асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором. До таких машин зокрема відносяться відцентрові сепаратори палива та мастила, що працюють у складі суднових енергетичних установок та ряду переробних підприємств хімічної, харчової та будівельної промисловості. Пусковий момент в приводах таких машин може складати 200…250% від обертового моменту усталеного режиму. Сполучення у таких приводах електродвигуна з приводом постійними муфтами вимагає встановлення електродвигунів великої потужності та є причиною зменшення компактності приводу, оскільки його деталі в такому випадку розраховуються на пусковий момент. Електричне регулювання моменту в такому варіанті побудови приводу не розповсюджене, тому сполучення асинхронних двигунів з такими приводами виконують відцентровими фрикційними муфтами, що виконують в такому випадку функції обмеження пускового моменту [1].

Аналіз стану проблеми та постановка задачі дослідження. Однією з найбільш розповсюджених конструкцій фрикційних муфт є конструкція показана на рис. 1, що встановлена в приводі сепаратора палива/мастила марки СЦ-1,5. Недоліком даної муфти є наявність надлишкових зв’язків, що є причиною нерівномірного зносу фрикційних накладок колодок встановлених в муфті при її роботі в умовах неспіввісності, особливо кутової. Радіальна неспіввісність має на рівномірність зносу накладок менший вплив, оскільки колодки мають можливість радіального переміщення та самоустановки. Аналогічний момент має місце для випадку роботи муфти з осьовою неспіввісністю – наявність гладких циліндричних поверхонь фрикційних колодок та чашоподібної напівмуфти забезпечує в такому випадку самоустановку. З огляду на це, розроблення конструкцій фрикційних відцентрових муфт що позбавлені вказаних недоліків та обґрунтування конструктивно-силових параметрів цих конструкцій є важливою задачею та становить мету даної роботи.

Виклад основного матеріалу. Для ліквідації цього недоліку автором запропоновано конструкцію муфти у якій сполучення колодок із внутрішньою напівмуфтою виконано гнучкими ланками, наприклад сталевими канатами. Так на рис. 2 показана схема пропонованої муфти. Вона складається із зовнішньої чашоподібної напівмуфти 1 з циліндричним отвором 2, встановленої всередині неї внутрішньої напівмуфти 3, на якій встановлені кулачки 4, що сполучені з внутрішньою напівмуфтою 3 гнучкими елементами 5, які закріплені у напівмуфті 3 та кулачках 4 шарнірами 6 та 7. Кулачки 4 мають можливість взаємодії своїми циліндричними фрикційними поверхнями 8 з циліндричним отвором 2 зовнішньої чашоподібної напівмуфти 1, а до напівмуфти 3 притягнуті пружинами 9. Пружини 9 які одним зі своїх кінців закріплені на кулачках 4, а іншим у напівмуфті 3, і в нерухомому стані забезпечують між зовнішньою поверхнею кулачків 8 та отвором 2 напівмуфти 1 зазор z. Муфта в працює наступним чином (рис. 2). Ведучою є напівмуфта 3, яка, обертаючись в напрямку натягу гнучких ланок 5, спричиняє обертання кулачків 4, які обертаючись разом із напівмуфтою 3, під дією відцентрової сили переміщуються в радіальному напрямку, натягуючи пружини 9, та притискаються своїми фрикційними поверхнями 8 до поверхні циліндричного отвору 2 зовнішньої

чашоподібної напівмуфти 1, викликаючи силу тертя, яка створює момент тертя, що спричиняє обертання веденої зовнішньої чашоподібної напівмуфти 1. При цьому зазор *z* утворюється між кулачками 4 та зовнішньою поверхнею напівмуфти 3.

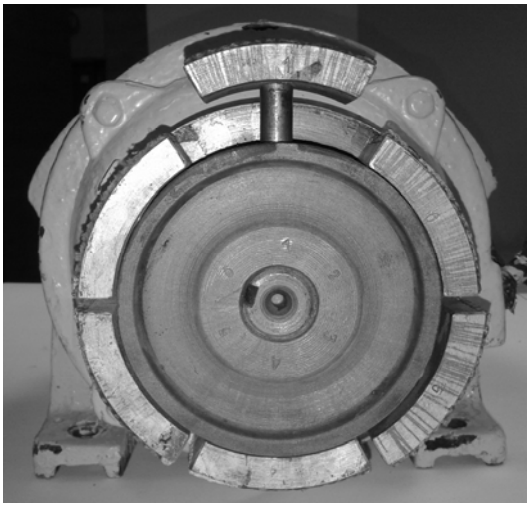

Рис. 1. Базова муфта сепаратора з радіально-рухомими колодками (зовнішню напівмуфту знято)

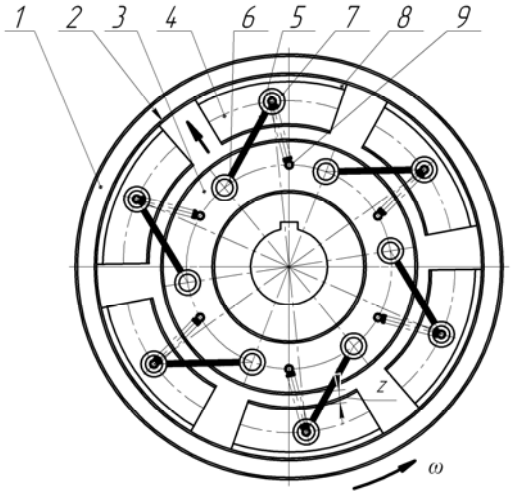

Рис. 2. Конструктивна схема пропонованої муфти в період усталеної роботи

Під час проектування муфти необхідно визначити дійсний момент, що вона здатна розвинути, а також виконувати розрахунок на міцність її елементів. Для цього необхідно визначати силові фактори в елементах муфти. З цією метою складемо та розглянемо розрахункову схему муфти (рис. 3). На цій схемі внутрішня напівмуфта 1 і відповідна їй (кожна із *z* встановлених) колодок 2 є ведучими і обертаються з кутовою швидкістю ω. За рахунок наявності відцентрової сили $F_в$ колодки притискаються до внутрішньої (гальмівної) поверхні зовнішньої напівмуфти 3 силою *N*, яка викликає на гальмівній поверхні силу тертя $F_{тр}$, яка створює момент тертя $T_{тр}$, що є рушійним моментом для зовнішньої напівмуфти 3 та сполучених з нею деталей приводу, канати при цьому натягуються силою $F_н$.

Для визначення зусилля *N* тиску колодок на поверхню напівмуфти розглянемо рівновагу колодки (рис. 4) та складемо рівняння рівноваги в проекціях на вісь Y:

$$N = F_в - G - F_{пр} - F_н \cos\alpha_2, \tag{1}$$

де $G = m_к g$ – вага колодки;

$F_{пр}$ – зусилля пружини.

Тоді момент тертя муфти:

$$T_{тр} = zf\frac{D_{тр}}{2}(F_в - G - F_{пр} - F_н \cos\alpha_2). \tag{2}$$

де α_2 – кут між віссю каната та радіусом муфти.

Сила натягу каната (по аналогії з постійними муфтами оснащеними торцевими канатами тангенціального розташування) [2]:

$$F_н = \frac{4TL_к}{zD_{зв}D_{вн}\sin\xi} = \frac{4T_{тр}\sqrt{0,25(D_{зв}^2 + D_{вн}^2) - 0,5D_{зв}D_{вн}\cos\xi}}{zD_{зв}D_{вн}\sin\xi} = \frac{4T_{тр}\sqrt{0,25(\psi_D^2 + 1) - 0,5\psi_D\cos\xi}}{zD_{вн}\psi_D\sin\xi}, \tag{3}$$

де $L_к$ – теоретична довжина каната (відстань *AB* на рис. 3);

$D_{зв}$ – діаметр закріплення канатів на внутрішній напівмуфті.

ξ – кут монтажного зміщення колодок;

$\psi_D = \frac{D_{зв}}{D_{вн}}$ – коефіцієнт діаметрів.

Для визначення кута α_2 розглянемо трикутники *OPB* та *BPA* для яких можна записати:

$$tg\alpha_2 = \frac{PB}{AP} = \frac{PB}{OA - OP} = \frac{0,5D_{вн}\sin\xi}{0,5D_{зв} - 0,5D_{вн}\cos\xi} = \frac{D_{вн}\sin\xi}{D_{зв} - D_{вн}\cos\xi} = \frac{\psi_D\sin\xi}{\psi_D - \cos\xi}. \tag{4}$$

Вводимо заміну:

$$\cos\alpha_2 = \frac{1}{\sqrt{1 + tg^2\alpha_2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{D_{вн}\sin\xi}{D_{зв} - D_{вн}\cos\xi}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\sin\xi}{\psi_D - \cos\xi}\right)^2}}. \tag{5}$$

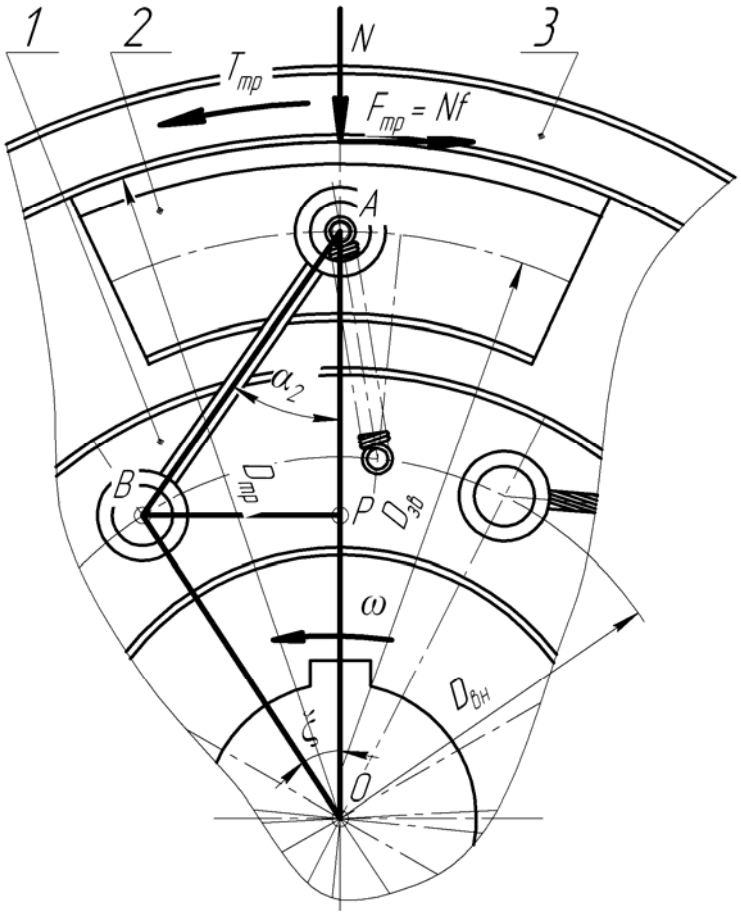

Рис. 3. Розрахункова схема муфти

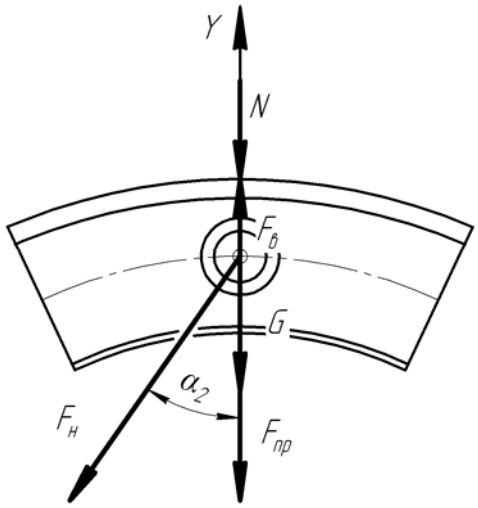

Рис. 4. Схема сил, що діють на колодку

Звідки отримаємо новий вираз (6) для моменту тертя муфти:

$$T_{тр} = zf\frac{D_{тр}}{2}\left[F_в - G - F_{пр} - \frac{4T_{тр}\sqrt{0,25(D_{зв}{}^2 + D_{вн}{}^2) - 0,5D_{зв}D_{вн}\cos\xi}}{zD_{зв}D_{вн}\sin\xi\sqrt{1+\left(\frac{D_{вн}\sin\xi}{D_{зв} - D_{вн}\cos\xi}\right)^2}}\right]. \quad (6)$$

Після нескладних перетворень виразу (6) отримаємо формулу (7):

$$T_{тр} = \frac{0,5zfD_{тр}(F_в - G - F_{пр})}{\left[1+\frac{2fD_{тр}\sqrt{0,25(D_{зв}{}^2 + D_{вн}{}^2) - 0,5D_{зв}D_{вн}\cos\xi}}{D_{зв}D_{вн}\sin\xi\sqrt{1+\left(\frac{D_{вн}\sin\xi}{D_{зв} - D_{вн}\cos\xi}\right)^2}}\right]} = \frac{0,5zfD_{тр}(F_в - G - F_{пр})}{\left[1+\frac{2fD_{тр}\sqrt{0,25(\psi_D{}^2 + 1) - 0,5\psi_D\cos\xi}}{D_{вн}\psi_D\sin\xi\sqrt{1+\left(\frac{\sin\xi}{\psi_D - \cos\xi}\right)^2}}\right]}. \quad (7)$$

У випадку нехтування силою ваги колодки та силою пружини, з урахуванням відомого виразу обчислення відцентрової сили, для моменту тертя муфти можна записати спрощену формулу (8).

$$T_{тр} = \frac{0,25zfm_к\omega^2 D_{тр}D_{зв}}{\left[1+\frac{2fD_{тр}\sqrt{0,25(D_{зв}{}^2 + D_{вн}{}^2) - 0,5D_{зв}D_{вн}\cos\xi}}{D_{зв}D_{вн}\sin\xi\sqrt{1+\left(\frac{D_{вн}\sin\xi}{D_{зв} - D_{вн}\cos\xi}\right)^2}}\right]} = \frac{0,25zfm_к\omega^2 D_{тр}D_{вн}\psi_D}{\left[1+\frac{2fD_{тр}\sqrt{0,25(\psi_D{}^2 + 1) - 0,5\psi_D\cos\xi}}{D_{вн}\psi_D\sin\xi\sqrt{1+\left(\frac{\sin\xi}{\psi_D - \cos\xi}\right)^2}}\right]}. \quad (8)$$

Проаналізуємо вплив конструктивних параметрів муфти, зокрема кута ξ монтажного зміщення колодок на навантажувальну здатність муфти на прикладі базової муфти сепаратора СЦ-1,5. У цієї муфти $m_к$ = 0,1 кг, $D_{тр}$ = 150 мм, ω = 157,08 рад/с (1500 об/хв), f = 0,4 (феродо по сталі) [1, 3]. У канатної муфти передбачаємо конструктивно $D_{зв}$ = 135 мм, $D_{вн}$ = 100 мм. Зміну кута ξ передбачаємо в інтервалі 5…80º.

Обчислення виконані за формулами (5) та (13) проілюстровані графіками на рис. 5.

З графіків можна зробити висновок, що при даних конструктивних параметрах та коефіцієнті діаметрів $\psi_D = 0{,}135$ найбільший момент муфти та найменший натяг канатів забезпечується при значенні кута ξ в околицях 40º.

Очевидно, для запропонованої фрикційної муфти також справедлива залежність (9), знайдена раніше для пружних муфт з торцевою установкою канатів тангенціального розташування [4].

$$\xi_F = \arccos\frac{1}{\psi_D} = \arccos\frac{1}{1{,}35} = 42{,}205^\circ = 42^\circ 12' 20'' . \qquad (9)$$

Відтак при відомих конструктивно діаметрах $D_{зв}$ та $D_{вн}$ = 100 мм, а відтак і ψ_D, можна обчислювати кут ξ_F, який забезпечить максимальний момент муфти та мінімальне навантаження канатів. Наявність у формулах (6)–(8) знаменника більшого від одиниці свідчить про те, що при рівних розмірах та масі вантажів муфта з канатними елементами матиме менший момент ніж базова муфта. Так, при куті ξ = 42,205º найбільший момент муфти з канатними елементами складає 21,36 Нм. При цьому момент тертя базової муфти з радіально рухомими колодками при аналогічних параметрах є приблизно на 40% більшим і складає 29,98 Нм. Це означає, що для забезпечення аналогічної базовій муфті навантажувальної здатності необхідно збільшити масу колодок, щоб нівелювати вплив на нормальну реакцію N сили натягу канатів $F_н$.

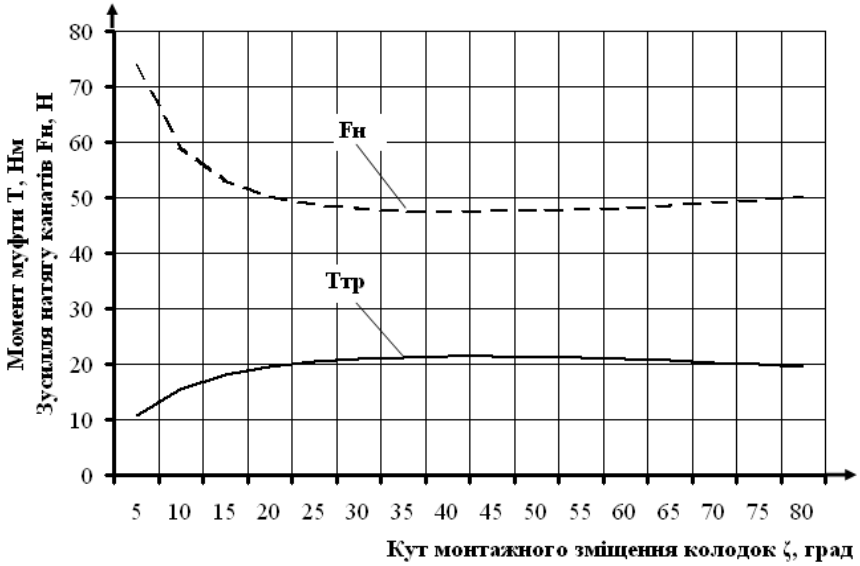

Рис. 5. Графіки впливу величини кута ξ на навантажувальну здатність та натяг канатів муфти

В результаті виконаних теоретичних досліджень можна зробити наступні **висновки**:

1. Запропонована конструкція відцентрової фрикційної муфти з канатними елементами, що не містить зайвих зв'язків порівняно з муфтою-прототипом.

2. Отримано вираз для обчислення моменту тертя, який здатна розвинути нова муфта.

3. Встановлено, що при однакових розмірах та частоті обертання, муфта з канатними елементами здатна розвинути момент тертя на 40% менше ніж базова муфта з радіально-рухомими колодками. Збільшення навантажувальної здатності муфти доцільно виконувати за рахунок збільшення маси вантажів.

Література

1. Дьяченко С.К. Предохранительные муфты / Дьяченко С.К., Киркач Н.Ф. – К. : Гостехиздат УССР, 1962. – 122 с.

2. Проценко В.О. Геометричні та силові параметри муфти з торцевою установкою канатів тангенціального розташування / В.О. Проценко, В.О. Настасенко, О.Ю. Клементьєва // Підйомно-транспортна техніка : науково-технічний та виробничий журнал. – Одеса : ІНТЕРПРІНТ. – 2015. – № 4. – С. 53–59.

3. Иванов Е.А. Муфты приводов / Е.А. Иванов. − М. : Машгиз, 1959. − 412 с.

4. Проценко В.О. Вплив компонування муфти з торцевими канатами тангенціального розташування на силову взаємодію її елементів / В.О. Проценко, О.Ю. Клементьєва // Науковий вісник НЛТУ України. – Львів : НЛТУ України, 2016. – Вип. 26.1 – С. 292–397.

Рецензія/Peer review : 27.9.2016 р. Надрукована/Printed :28.10.2016 р.
Рецензент : к.т.н., доц. Бабій М.В.