

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІНІМАЛЬНОЇ НАВАНТАЖЕНОСТІ КАНАТНИХ ПРУЖНИХ ЕЛЕМЕНТІВ МУФТИ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ

В статті розглянуто вплив на навантаження канатів муфти з торцевою установкою канатів деяких її компоновальних параметрів. Результати досліджень дозволили вперше встановити вплив кута монтажного зміщення напівмуфт на навантаження канатів. Отримано вираз для визначення оптимального кута монтажного зміщення напівмуфт, забезпечення якого дозволяє зменшити натяг канатів муфти до мінімуму.

Ключові слова: муфта, канат, колова сила, момент, навантаження.

V.O. PROCENKO, O.YU. KLEMENTYEVA
Kherson State Maritime Academy, Kherson, Ukraine

ENSURE MINIMAL LOADING ROPE ELASTIC ELEMENT COUPLING AT PROJECTING

In the article the impact load rope couplings with face installation ropes layout some of its parameters. The research results allowed to determine the effect of the first mounting angle offset half-coupling to the rope load. Found that when the angle of 10° to about 50° rope tension strength decreases from 7500 N to 3500 N, or in 2.15 times. An expression to determine the optimal mounting angle offset half-coupling, which allows software to reduce tension rope couplings to a minimum. The results form the conditions for the development of sustainable design techniques of coupling with rope elastic elements.

Keywords: coupling, rope, environing force, torque, load.

Постановка проблеми у загальному виді і її зв'язок з важливими науковими та практичними задачами. Раціональне проектування виробів машинобудування дозволяє суттєво підвищити їх ресурс, знизити металомісткість та вартість. Не менше значення має і підвищення технологічності цих виробів за рахунок заміни спеціальних елементів універсальними, навіть з інших галузей. Яскравим прикладом можуть служити муфти з канатними пружними елементами, впровадження у яких замість спеціальних пружних ланок сталевих канатів робить можливою суттєву економію. На жаль муфти з канатними пружними елементами на сьогодні досліджені недостатньо, вивчені лише деякі конструкції [1]. Тому обґрунтування параметрів та розроблення основ раціонального проектування цих виробів є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень та публікацій та визначення невирішених задач проблеми. На сьогодні відомий порівняно невеликий обсяг робіт, що стосуються канатних муфт [1, 2]. Ці роботи дещо вивели задачу проектування цих пристроїв за межі емпіризму, однак методики проектування більшості конструкцій на сьогодні не створені. Не закладені також основи раціонального проектування цих виробів з метою підвищення їх безвідмовності за рахунок зниження навантаженості.

Постановка задачі. Однією з нових розробок є муфта з торцевою установкою прямих канатів тангенціального розташування. Ця муфта характеризується очевидними перевагами серед інших конструкцій за рахунок можливості розміщення великої кількості канатів. На експлуатаційні параметри цієї муфти впливають її компоновальні параметри, зокрема геометричні розміри та їх співвідношення, тому встановлення раціонального співвідношення цих параметрів, які забезпечать мінімальне навантаження канатів є актуальним і становить задачу даної роботи.

Результати досліджень. В одній із останніх робіт авторів обґрунтовані геометрично-силові параметри муфти з торцевою установкою канатів торцевого розташування, зокрема отримані вирази для обчислення сили натягу канатів, один із яких (1) наведений нижче. Також показано, що можливі два випадки проектування таких муфт:

а) задача проектування муфти для заміни встановленої у приводі що знаходиться в експлуатації, коли відомі діаметри $D_{зв}$ та $D_{вн}$;

б) задача проектування нової муфти при невідомих $D_{зв}$ та $D_{вн}$, проте відомих обмеженнях щодо її компоновки.

Розглянемо детальніше варіант а), який фактично являє собою «вписування» канатної муфти в існуючі приєднувальні розміри елементів приводу, які сполучатиме муфта. Прикладом може бути муфта для сполучення маховика дизеля із передачею.

В такій муфті сила натягу каната F_n (рис. 1) визначається за формулою:

$$F_i = \frac{4T \sqrt{0,25(D_{ca}^2 + D_{ai}^2) - 0,5D_{ca}D_{ai} \cos \alpha}}{zD_{ca}D_{ai} \sin \alpha} \quad (1)$$

Виконаний чисельний аналіз формули (1) для визначення сили натягу канатів дав можливість побудувати для муфти із $z = 6$, $D_{зв} = 145$ мм, $D_{вн} = 95$ мм при $T = 1000$ Нм графік залежності сили натягу каната F_n , від величини кута монтажного зміщення напівмуфт ζ (рис. 2).

Аналіз цього графіка показує, що при інших рівних умовах, існує такий оптимальний кут ζ_F , який відповідає найменшому навантаженню канатів. Згідно з графіком на рис. 2, для вказаних параметрів муфти, цей кут знаходиться в районі 50°. Графік також дає можливість встановити, що при збільшенні кута ζ від 10° до приблизно 50° сила натягу каната F_n зменшується зі значення близько 7500 Н до значення близько 3500 Н, або в 2,15 разу. Тому в розглянутому випадку проектування, при необхідності «вписання» муфти у відомі

габарити постає потреба використання виразу для обчислення кута найменшої навантаженості канатів ζ_F , який необхідно визначати під час розрахунку муфти на міцність та вибору канатів при відомих діаметрах $D_{3в}$ та $D_{вн}$.

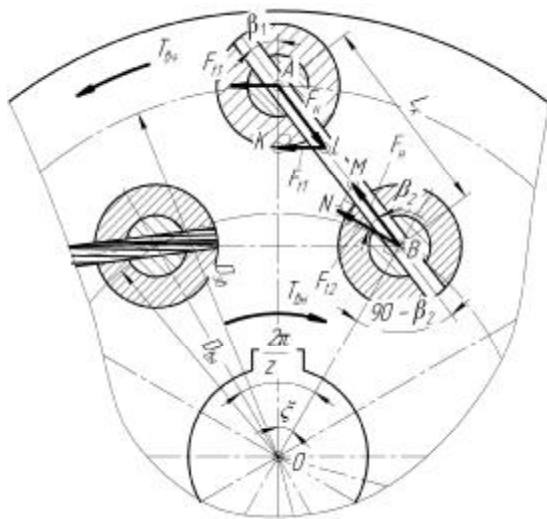


Рис. 1. Розрахункова схема муфти

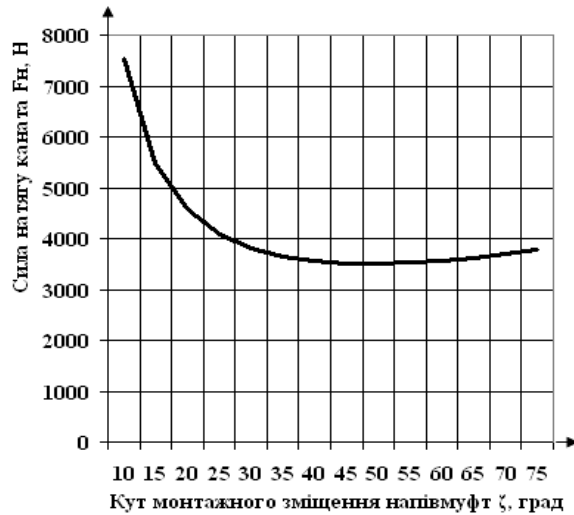


Рис. 2. Графік залежності сили натягу каната F_n від величини кута монтажного зміщення напівмуфт ζ

Як уже було зазначено, при проектуванні муфти слід прагнути до забезпечення найменшого натягу канатів F_n . Запишемо формулу для визначення сили натягу канатів у дещо іншій формі:

$$F_i = \frac{F_{i1}}{\sin b_1} = \frac{2T}{zD_{ca} \sin b_1} \quad (2)$$

Аналіз формули (2) дає можливість зробити очевидний висновок, що зменшення сили натягу можна досягти, максимізувавши величину знаменника $\sin b_1$ (3).

$$\sin b_1 = \frac{D_{ai} \sin x}{2L_e} \quad (3)$$

Або, врахувавши (4),

$$L_e = \sqrt{0,25(D_{ca}^2 + D_{ai}^2) - 0,5D_{ca}D_{ai} \cos x} \quad (4)$$

$$\sin b_1 = \frac{D_{ai} \sin x}{2\sqrt{0,25(D_{ca}^2 + D_{ai}^2) - 0,5D_{ca}D_{ai} \cos x}} \quad (5)$$

Для пошуку кутів ζ , які забезпечать мінімальне значення $\sin b_1$, візьмемо першу похідну від функції (5) та прирівняємо її до нуля. Введемо при цьому такі позначення: $\sin b_1 = R$, $\frac{D_{ai}}{2} = C_1$, $0,25(D_{ca}^2 + D_{ai}^2) = C_2$, $0,5D_{ca}D_{ai} = C_3$. Тоді вираз (5) набуде вигляду (6):

$$R = C_1 \frac{\sin x}{\sqrt{C_2 - C_3 \cos x}} \quad (6)$$

$$R' = \left(C_1 \frac{\sin x}{\sqrt{C_2 - C_3 \cos x}} \right)' = 0 \quad (7)$$

$$R' = C_1 \left(\frac{\sin x}{\sqrt{C_2 - C_3 \cos x}} \right)' = C_1 \frac{(\sin x)' \times \sqrt{C_2 - C_3 \cos x} - \sin x (\sqrt{C_2 - C_3 \cos x})'}{C_2 - C_3 \cos x} =$$

$$= C_1 \frac{\cos x \sqrt{C_2 - C_3 \cos x} - \frac{C_3 \sin^2 x}{2\sqrt{C_2 - C_3 \cos x}}}{C_2 - C_3 \cos x} = 0 \quad (9)$$

Знаменник $C_2 - C_3 \cos x$ та константа C_1 у формулі (9) рівними нулю бути не можуть, тому спростуємо отримане рівняння (9) до вигляду (10):

$$\cos x \sqrt{C_2 - C_3 \cos x} - \frac{C_3 \sin^2 x}{2\sqrt{C_2 - C_3 \cos x}} = 0 \quad (10)$$

Після ряду перетворень рівняння (10) спростується до вигляду (11):

$$-C_3 \cos^2 x + 2C_2 \cos x - C_3 = 0. \quad (11)$$

Вирішивши рівняння (11) отримаємо корінь (12):

$$\cos x = \frac{-2C_2 + \sqrt{4C_2^2 - 4C_3^2}}{-2C_3} = \frac{C_2 - \sqrt{C_2^2 - C_3^2}}{C_3}. \quad (12)$$

Підстановкою раніше введених констант перетворимо (12) до виду (13):

$$\cos x = \frac{0,25(D_{\dot{c}\dot{a}}^2 + D_{\dot{a}\dot{i}}^2) - \sqrt{(0,25(D_{\dot{c}\dot{a}}^2 + D_{\dot{a}\dot{i}}^2))^2 - (0,5D_{\dot{c}\dot{a}}D_{\dot{a}\dot{i}})^2}}{0,5D_{\dot{c}\dot{a}}D_{\dot{a}\dot{i}}}. \quad (13)$$

Звідки

$$x = \arccos \left(\frac{0,25(D_{\dot{c}\dot{a}}^2 + D_{\dot{a}\dot{i}}^2) - \sqrt{(0,25(D_{\dot{c}\dot{a}}^2 + D_{\dot{a}\dot{i}}^2))^2 - (0,5D_{\dot{c}\dot{a}}D_{\dot{a}\dot{i}})^2}}{0,5D_{\dot{c}\dot{a}}D_{\dot{a}\dot{i}}} \right). \quad (14)$$

Для модельної муфти обчислюємо проміжні величини та підставляємо в (14):

$$C_2 = 0,25(D_{\dot{c}\dot{a}}^2 + D_{\dot{a}\dot{i}}^2) = 0,25(145^2 + 95^2) = 7512,5 \text{ } \dot{i} \dot{i}^2,$$

$$C_3 = 0,5D_{\dot{c}\dot{a}}D_{\dot{a}\dot{i}} = 0,5 \times 145 \times 95 = 6887,5 \text{ } \dot{i} \dot{i}^2.$$

$$x = \arccos \left(\frac{7512,5 - \sqrt{(7512,5)^2 - (6887,5)^2}}{6887,5} \right) = 49^{\circ}4'2''.$$

Результати чисельного моделювання наведені на рис. 2 показали співпадіння з розрахунком за отриманою формулою (14). Таким чином, можна стверджувати, що отриманий вираз (14') дозволяє обчислити оптимальний кут монтажного зміщення напівмуфт ζ_F , забезпечення якого дозволяє зменшити натяг канатів до мінімуму.

$$x_F = \arccos \left(\frac{0,25(D_{\dot{c}\dot{a}}^2 + D_{\dot{a}\dot{i}}^2) - \sqrt{(0,25(D_{\dot{c}\dot{a}}^2 + D_{\dot{a}\dot{i}}^2))^2 - (0,5D_{\dot{c}\dot{a}}D_{\dot{a}\dot{i}})^2}}{0,5D_{\dot{c}\dot{a}}D_{\dot{a}\dot{i}}} \right). \quad (14')$$

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

1. Результати досліджень дозволили вперше встановити вплив кута ζ монтажного зміщення напівмуфт на навантаження канатів муфти з торцевою їх установкою та тангенціальним розташуванням.

2. Встановлено, що при збільшенні кута ζ від 10° до приблизно 50° сила натягу каната зменшується з 7500 Н до 3500 Н, або в 2,15 разів.

3. Отримано вираз для визначення оптимального кута монтажного зміщення напівмуфт ζ_F , забезпечення якого дозволяє зменшити натяг канатів муфти до мінімуму.

4. Отримані результати формують умови для розроблення методики раціонального проектування муфт з канатними пружними елементами.

Можна рекомендувати наступні **напрямки подальших досліджень**:

1. Дослідження впливу кута монтажного зміщення напівмуфт на натяг канатів.

2. Порівняння основних показників муфт з торцевою установкою канатів тангенціального та хордального розташування.

3. Розроблення методики проектування муфт з торцевою установкою канатів.

4. Дослідження впливу не співвісності на перерозподіл навантаження між канатами у муфтах.

5. Дослідження впливу не співвісності на додаткові навантаження від муфт на поєднувані вали.

6. Дослідження впливу не співвісності на довговічність канатів.

7. Дослідження тепловиділення від канатів муфт при їх роботі в умовах не співвісності.

8. Дослідження міцності та розроблення методики розрахунку фланців напівмуфт.

9. Обґрунтування параметрів пристроїв для затиску канатів у муфтах.

10. Комплексна оптимізація параметрів муфт з торцевими канатами.

Література

1. Проценко В.О. Експериментальні дослідження статичної жорсткості з'єднувальних муфт з осью установкою прямих канатів / В.О. Проценко // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький: ХНУ. – 2010. – № 4 (160). – С. 38–44.

2. Разработка и исследование демпфирующих силовых передаточных устройств с канатными связями для главного привода крана : отчет о научно-исследовательской работе № 72025333 / рук. Ивашин Б.И. – Одесса : ОПИ, 1972. – 52 с.

Рецензія/Peer review : 25.1.2016 р.

Надрукована/Printed : 10.2.2016 р.

Рецензент: к.т.н., доц. Бабій М.В.