

УДК 621.825.5/7

ВПЛИВ КОМПОНУВАННЯ МУФТИ З ТОРЦЕВИМИ КАНАТАМИ ТАНГЕНЦІАЛЬНОГО РОЗТАШУВАННЯ НА СИЛОВУ ВЗАЄМОДІЮ ЇЇ ЕЛЕМЕНТІВ

В.О. Проценко¹, О.Ю. Клементьєва²

Розглянуто силову взаємодію елементів муфти з торцевою установкою прямих канатів тангенціального розташування. Отримано розрахункові залежності, що описують вплив на неї деяких компоувальних параметрів. Досліджено вплив одного із найбільш важливих параметрів муфти, а саме співвідношення діаметрів розташування втулок у напівмуфтах на натяг канатів. Отримано вираз, що дає змогу обчислити значення коефіцієнта діаметрів, який забезпечує мінімальний натяг канатів.

Ключові слова: муфта, канат, компоувка, обертальний момент, колова сила, натяг.

Вступ. В умовах кризи, що спіткала світову економіку останніми роками, особливої актуальності набувають вимоги до забезпечення ресурсозбереження промислової продукції. Заощадження ресурсів найбільш ефективно виконувати протягом усього життєвого циклу будь-якого виробу, від етапу проектування до утилізації. Зниженню витрат під час експлуатації та утилізації може сприяти раціональне проектування, тому вдосконалення наявних і розроблення нових методів розрахунку деталей машин з метою забезпечення їх мінімальної завантаженості, а відтак і максимальної довговічності є актуальним завданням. Задачі проектування різноманітних муфт детально розглянуто у відповідних працях [1-5], проте для канатних муфт вони розроблені недостатньо.

Аналіз виконаних досліджень та постановка задачі. Муфти з канатними пружними елементами, як і будь-які інші складальні одиниці, можуть мати безліч варіантів конструктивного виконання. Зрозуміло, що кожен із цих варіантів характеризуватиметься своїми перевагами та недоліками, проте конструктору потрібно прагнути до такого варіанту, коли будуть забезпечені мінімальні витрати під час всього життєвого циклу муфти. Мінімізації витрат, крім інших варіантів, може бути досягнуто внаслідок зменшення витрат на змінні та витратні елементи протягом всього періоду експлуатації муфти. Очевидно, що вихід із ладу слабких ланок будь-якого виробу напряму залежить від навантаження. Для муфт такими ланками є сталеві канати, які є основними несними елементами і працюють у найбільш важких умовах. З огляду на це, точний облік навантаження канатних пружних елементів на стадії проектування та компоувки муфти, є важливою умовою забезпечення їх довговічності, що потребує застосування відповідних розрахункових залежностей. Разом із цим, важливою проблемою є раціональний вибір співвідношення між конструктивними параметрами муфт для забезпечення мінімального навантаження на канатні елементи, що потребує аналізу впливу на навантаження конструктивних елементів муфт та пошуку раціонального співвідношення між ними. Результати аналізу відомих публікацій свідчать, що силову взаємодію елементів канатних муфт та вплив на неї конструктивних параметрів муфт на сьогодні досліджено недос-

татньо. З огляду на викладене, метою цієї роботи є дослідження силовій взаємодії елементів муфти з торцевою установкою канатів тангенціального розташування та встановлення впливу на навантаження канатів деяких її компоувальних параметрів, зокрема співвідношення діаметрів розташування втулок у повідній та веденій напівмуфтах.

Виклад основного матеріалу. На рис. 1 наведено розрахункову схему муфти. Муфта містить повідну і ведену напівмуфти, на кожній із яких встановлено z втулок із пальцями, якими закріплено відповідно z канатів. Втулка 1 встановлена у повідній напівмуфті та під час прикладення до неї рушійного моменту $T_{вч}$ спричиняє натяг каната силою $F_{н1}$, яка передається на втулку 2 та створює на веденій напівмуфті момент, який повинен переважати момент опору $T_{вн}$. Вказані моменти створюються коловими силами на втулках 1 і 2, відповідно $F_{т1}$ та $F_{т2}$.

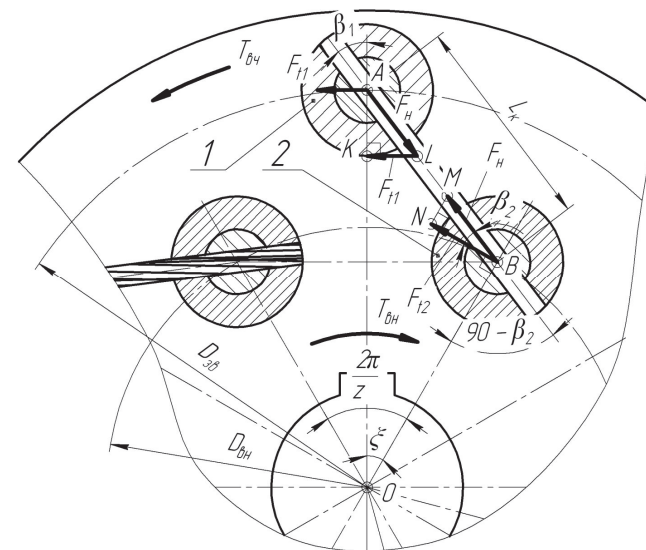


Рис. 1. Розрахункова схема муфти з торцевою установкою прямих канатів тангенціального розташування

Згідно зі складеною схемою, розглянувши трикутник AKL, запишемо

$$KL = AL \times \sin \beta_1 \quad (1)$$

або

$$F_{т1} = F_n \times \sin \beta_1.$$

Отже, шукана сила F_n становитиме

$$F_n = \frac{F_{т1}}{\sin \beta_1} = \frac{2T}{zD_{36} \sin \beta_1}. \quad (2)$$

Для визначення кута β_1 з трикутника OAB запишемо рівності:

$$\frac{AB}{\sin \xi} = \frac{OB}{\sin \beta_1} \quad \text{або} \quad \frac{L_k}{\sin \xi} = \frac{D_{вн}}{2 \sin \beta_1}, \quad (3)$$

¹ доц. В.О. Проценко, канд. техн. наук – Херсонська державна морська академія;

² аспір. О.Ю. Клементьєва – Херсонська державна морська академія

де: $AB = L_k$ – теоретична довжина каната; ξ – кут монтажного зміщення напівмуфт (компонувальний параметр).

З виразу (3) отримаємо

$$\sin \beta_1 = \frac{D_{\text{вн}} \sin \xi}{2L_k}. \quad (4)$$

Підставивши (4) у (2), отримаємо нову формулу

$$F_n = \frac{4TL_k}{zD_{36}D_{\text{вн}} \sin \xi}. \quad (5)$$

З трикутника OAB отримаємо

$$\begin{aligned} AB &= \sqrt{OA^2 + OB^2 - 2OA \times OB \times \cos \xi}, \\ L_k &= \sqrt{0,25(D_{36}^2 + D_{\text{вн}}^2) - 0,5D_{36}D_{\text{вн}} \cos \xi}. \end{aligned} \quad (6)$$

Підстановкою (6) у (5) отримаємо рівняння

$$F_n = \frac{4T\sqrt{0,25(D_{36}^2 + D_{\text{вн}}^2) - 0,5D_{36}D_{\text{вн}} \cos \xi}}{zD_{36}D_{\text{вн}} \sin \xi}. \quad (7)$$

Під час проектування нових муфт постає задача вибору раціонального співвідношення між діаметрами розташування втулок у напівмуфтах D_{36} та $D_{\text{вн}}$. Існуючі у практиці конструювання муфт емпіричні співвідношення не дають змогу прийняти рішення про вибір раціональних величин цих діаметрів.

Тому проаналізуємо формулу (7), вводячи нову величину – діаметрів

$\psi_D = \frac{D_{36}}{D_{\text{вн}}}$, отримаємо формулу (7) у вигляді (8):

$$F_n = \frac{4T\sqrt{0,25D_{\text{вн}}^2(\psi_D^2 + 1) - 0,5D_{\text{вн}}^2 \cos \xi \psi_D}}{zD_{\text{вн}}^2 \sin \xi \psi_D}, \quad (8)$$

$$F_n = \frac{4T\sqrt{0,25(\psi_D^2 + 1) - 0,5 \cos \xi \psi_D}}{zD_{\text{вн}} \sin \xi \psi_D}. \quad (8)$$

Виконане чисельне моделювання для муфти із $z = 6$, $D_{\text{вн}} = 95$ мм, $\xi = 45^\circ$ при обертовому моменті $T = 1000$ Нм та різних D_{36} , і відповідно ψ_D , дало змогу побудувати графік залежності сили натягу каната F_n від величини коефіцієнта діаметрів ψ_D (рис. 2). Аналіз цього графіка показує, що існує таке значення коефіцієнта ψ_D , за якого забезпечене, за рівних інших умов, мінімальне значення сили натягу каната F_n . Для модельної муфти, згідно з рис. 2, цей коефіцієнт має значення близько $\psi_D = 1,4$. Очевидно, що для раціонального проектування муфти потрібно отримати вираз для обчислення цього оптимального, з точки зору зниження навантаженості канатів, значення коефіцієнта ψ_{DF} , щоб дати у майбутньому інструмент конструкторам для проектування мінімально навантажених муфт.

Проаналізуємо можливість отримання раціонального співвідношення діаметрів розташування втулок у зовнішній та внутрішній напівмуфтах з умови мінімізації навантаженості канатів силою F_n , що адекватно пошуку мінімуму функції (8).

Для цього візьмемо першу похідну від (8) та прирівняємо її до нуля.

$$F_n' = \left(\frac{4T}{zD_{\text{вн}} \sin \xi} \times \frac{\sqrt{0,25\psi_D^2 - 0,5 \cos \xi \psi_D + 0,25}}{\psi_D} \right)' = 0. \quad (9)$$

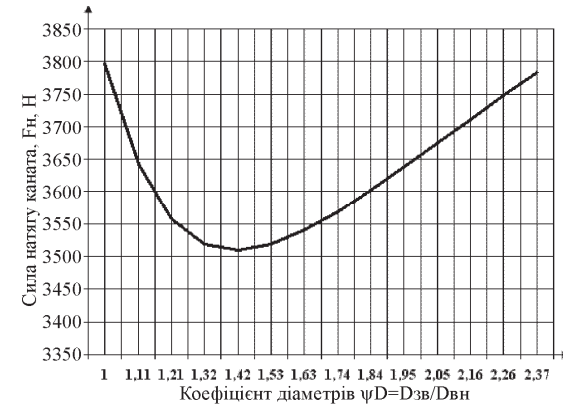


Рис. 2. Графік залежності сили натягу каната F_n від величини коефіцієнта діаметрів ψ_D

$$\frac{4T}{zD_{\text{вн}}^2 \sin \xi} \cdot \left(\frac{\psi_D(\sqrt{0,25\psi_D^2 - 0,5 \cos \xi \psi_D + 0,25}}{\psi_D^2} - \sqrt{0,25\psi_D^2 - 0,5 \cos \xi \psi_D + 0,25} \right)' = 0. \quad (10)$$

Очевидно, в останньому виразі (10) дорівнювати нулю може тільки чисельник, тому матимемо такий вираз:

$$\psi_D(0,25\psi_D^2 - 0,5 \cos \xi \psi_D + 0,25)' - \sqrt{0,25\psi_D^2 - 0,5 \cos \xi \psi_D + 0,25} = 0; \quad (11)$$

$$\frac{\psi_D(0,5\psi_D - 0,5 \cos \xi)}{2\sqrt{0,25\psi_D^2 - 0,5 \cos \xi \psi_D + 0,25}} - \sqrt{0,25\psi_D^2 - 0,5 \cos \xi \psi_D + 0,25} = 0; \quad (12)$$

$$\psi_D(0,5\psi_D - 0,5 \cos \xi) - 2(0,25\psi_D^2 - 0,5 \cos \xi \psi_D + 0,25) = 0; \quad (13)$$

$$0,5\psi_D^2 - 0,5 \cos \xi \psi_D - 0,5\psi_D^2 + \cos \xi \psi_D - 0,5 = 0; \quad (14)$$

$$0,5 \cos \xi \psi_D - 0,5 = 0; \quad (15)$$

$$\cos \xi \times \psi_D = 1; \quad (16)$$

$$\psi_D = \frac{1}{\cos \xi}. \quad (17)$$

Для модельної муфти матимемо

$$\psi_D = \frac{1}{\cos \xi} = \frac{1}{\cos 45^\circ} = 1,41.$$

З виконаного розрахунку та зіставлення його з графіком на рис. 2 видно, що вони адекватні одне одному, що свідчить про правильність всіх міркувань та виконаних теоретичних досліджень. Відтак можна стверджувати, що отриманий вираз (17') дає змогу обчислювати оптимальний коефіцієнт діаметрів ψ_{DF} , який дає змогу виконати компоновку муфти із мінімальним натягом канатів.

$$\psi_{DF} = \frac{1}{\cos \xi} \quad (17)$$

Відповідно, оптимальний кут монтажного зміщення напівмуфт ξ_F , забезпечення якого дає змогу зменшити натяг канатів до мінімуму за відомого коефіцієнта діаметрів ψ_D , можна знайти за такою формулою:

$$\xi_F = \arccos \frac{1}{\psi_D} \quad (18)$$

Аналіз графіка на рис. 2 та результатів виконаних досліджень, дає змогу стверджувати, що збільшення коефіцієнта ψ_D від 1,0 до 1,41 спричиняє зменшення натягу канатів зі значення близько 3800 Н до значення 3500 Н або приблизно на 7 %, що спричинить підвищення довговічності канатів та муфти загалом. Графічне зображення залежності (17) представлено на рис. 3 і є номограмою для вибору оптимального коефіцієнта діаметрів ψ_{DF} за відомого кута ξ , чи оптимального кута ξ_F за відомого коефіцієнта діаметрів ψ_D під час проектування муфти.

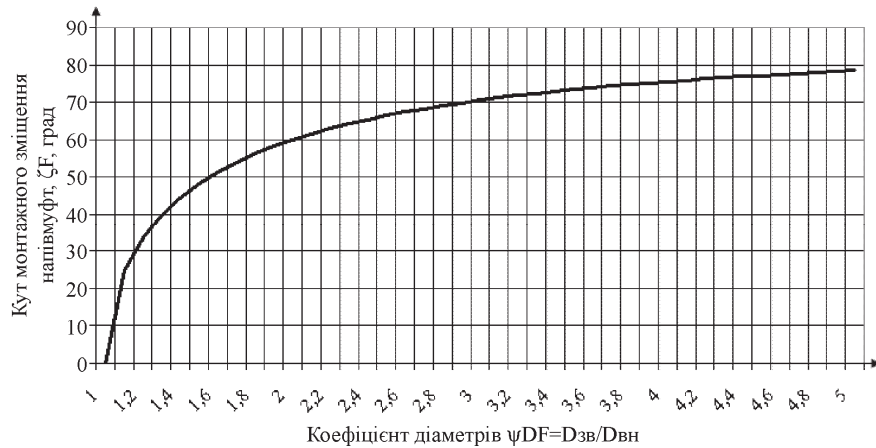


Рис. 3. Графік залежності оптимального коефіцієнта діаметрів ψ_{DF} від величини оптимального кута монтажного зміщення ξ_F

Отже, унаслідок виконаних теоретичних досліджень можна зробити такі

ВИСНОВКИ:

1. Компонувальні параметри, зокрема коефіцієнт відношення діаметрів ψ_D , мають значний вплив на навантаженість елементів муфти з торцевими канатами.
2. Вперше досліджено вплив цього коефіцієнта на натяг канатів та отримано вираз для визначення коефіцієнта ψ_{DF} , який забезпечує мінімальне значення натягу канатів.
3. Показано, що зі збільшенням коефіцієнта діаметрів ψ_D з 1,0 до 1,41 сила натягу канатів муфти зменшується від 3800 Н до 3500 Н, або на 7 %.
4. Побудовано номограму для вибору значень кута монтажного зміщення та коефіцієнта діаметрів, що забезпечують мінімальний натяг каната під час проектування.

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 неспіввісності на перерозподіл навантаження між канатами у муфтах.
5. Дослідження впливу неспіввісності на додаткові навантаження від муфт на поєднувані вали.
6. Дослідження впливу неспіввісності на довговічність канатів.
7. Дослідження тепловиділення від канатів муфт під час їх роботи в умовах неспіввісності.
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. Лукин М.Г. Муфты сцепные и упругие / М.Г. Лукин; под ред. Б.А. Иванова. – Л.: Изд-во "Советский печатник", 1935. – 284 с.
2. Иванов Е.А. Муфты приводов / Е.А. Иванов. – М.: Изд-во "Машгиз", 1954. – 348 с.
3. Поляков В.С. Муфты. Конструкции и расчет / В.С. Поляков, И.Д. Барбаш. – Л.: Изд-во "Машиностроение", 1973. – 336 с.
4. Ряховский О.А. Справочник по муфтам / О.А. Ряховский, С.С. Иванов. – Л.: Изд-во "Политехника", 1991. – 384 с.
5. Малащенко В.О. Муфты приводів. Конструкції та приклади розрахунків / В.О. Малащенко. – Львів: Вид-во НУ "Львівська політехніка", 2009. – 208 с.

Надіслано до редакції 17.02.2016 р.

Проценко В.А., Клементьева О.Ю. Влияние компоновки муфты с торцевыми канатами тангенциального расположения на силовое взаимодействие ее элементов

Рассмотрено силовое взаимодействие элементов муфты с торцевой установкой канатов тангенциального расположения. Получены расчетные зависимости, описывающие влияние на него некоторых компоновочных параметров. Исследовано влияние одного из важнейших параметров муфты, а именно соотношения диаметров расположения втулок в полумуфтах на натяжение канатов. Получено выражение, позволяющее вычислить значение коэффициента диаметров, обеспечивающего минимальное натяжение канатов.

Ключевые слова: муфта, канат, компоновка, вращающий момент, окружная сила, натяжение.

Protsenko V.O., Klementyeva O.Yu. Geometrical Conditions of Existence of Coupling with Tangentially Located Ropes

The new design of coupling with tangentially located ropes is proposed in the article. The advantages of this coupling compared to existing are designed. By providing theoretical researches the basic geometric constraints are established and also five conditions for the existence of proposed design coupling are formulated. The mathematical expression for the verification of the existence of the conditions is set by the geometric coupling.

Keywords: coupling, rope, misalignment, layout.