

УДК 621.825.5/.7

Проценко В.О., к.т.н., Клементьєва О.Ю.  
Херсонська державна морська академія

## **ВПЛИВ КОМПОНОВКИ НА НАВАНТАЖУВАЛЬНУ ЗДАТНІСТЬ МУФТ З ТОРЦЕВОЮ УСТАНОВКОЮ КАНАТІВ**

*Робота відноситься до галузі машинознавства та деталей машин. В ній за рахунок виконання теоретичних досліджень розкрито вплив компоновки муфт з торцевою установкою прямих канатів на їх навантажувальну здатність. Виконане порівняння навантажувальної здатності муфт з хордальним та тангенціальним розташуванням канатів. Встановлений рівень впливу на навантажувальну здатність муфти з тангенціальним розташуванням канатів збільшення її габаритів та кількості канатів. Встановлено раціональну галузь застосування муфт з торцевою установкою канатів різних варіантів розташування.*

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

*Работа относится к области машиноведения и деталей машин. В ней за счет выполнения теоретических исследований раскрыто влияние компоновки муфт с торцевой установкой прямых канатов на их нагрузочную способность. Выполнено сравнение нагрузочной способности муфт с хордальным и тангенциальным расположением канатов. Установлен уровень влияния на нагрузочную способность муфты с тангенциальным расположением канатов увеличения ее габаритов и количества канатов. Установлена рациональная область использования муфт с торцевой установкой канатов разных вариантов расположения.*

**Ключевые слова:** муфта, канат, окружная сила, момент, нагрузка.

*Operation treats to area of machinery and parts of machines. It contains theoretical studies revealed the influence of the coupling arrangement with face installation of ropes on their load capacity. Equation load capacity coupling with the tangential arrangement of chordal and ropes achieved. Level of influence on the loading capacity of the coupling with the tangential arrangement of ropes to increase its size and number of ropes is established. Rational use of the area from the end couplings installing cables of different layout options is established.*

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

**Вступ.** Раціональне конструювання машин складне без відомостей про переважну галузь застосування тих чи інших деталей та складальних одиниць. Накопичення такого банку знань обумовлює потребу у всебічних дослідженнях вже експлуатованих виробів та нових розробок.

**Аналіз виконаних досліджень та постановка задачі.** Авторами раніше розроблені та запатентовані нові конструкції муфт з торцевою установкою канатів – муфти з канатами хордального [1] та тангенціального [2] розташування. У попередніх роботах [3, 4] виконано обґрунтування деяких конструктивних та силових параметрів цих муфт, проте область переважного застосування для кожної з цих конструкцій не запропонована так само як і не оцінений резерв керування одним із основних їх параметрів, а саме навантажувальною здатністю за рахунок зміни компоновочних параметрів.

З огляду на це, **метою** даної роботи є теоретичне дослідження навантажувальної здатності муфт з торцевою установкою канатів хордального і тангенціального розташування, встановлення впливу на неї їх конструктивних параметрів та встановлення області переважного розташування кожної із цих конструкцій.

**Виклад основного матеріалу.** Устрій описаних муфт достатньо повно викладений в попередніх працях, тому тут обмежимося аналізом тільки розрахункових схем. З метою оцінки навантажувальної здатності розглянемо спершу розрахункову схему муфти з хордальним розташуванням канатів (рис. 1). У цій муфті ведучій напівмуфті належить втулка 1 і відповідний їй палець, а веденій напівмуфті – втулка 2, вони сполучені канатом 3. Устрій муфти з тангенціальним розташуванням канатів подібний до хордальної муфти за тим виключенням, що в ній пальці встановлені у своїх напівмуфтах на колах різних діаметрах  $D_{зв}$  та  $D_{вн}$ , а в муфті з хордальним розташуванням – на колі одного діаметру  $D_{зв}$  (для якого осі канатів є хордами).

Кількість канатів у розглянутій муфті з хордальним розташуванням -  $z$ , діаметр канатів  $d_k$ , діаметр втулки  $d_{вн}$ , момент що передає муфта  $T_x$ .

Розглянемо прямокутний трикутник  $OO_1A$ , звідки:

$$AO_1 = OA \times \sin \beta ,$$

або 
$$0,5L_k = 0,5D_{зв} \sin \frac{\pi}{z} , \tag{1}$$

де  $L_k$  – теоретична довжина каната.

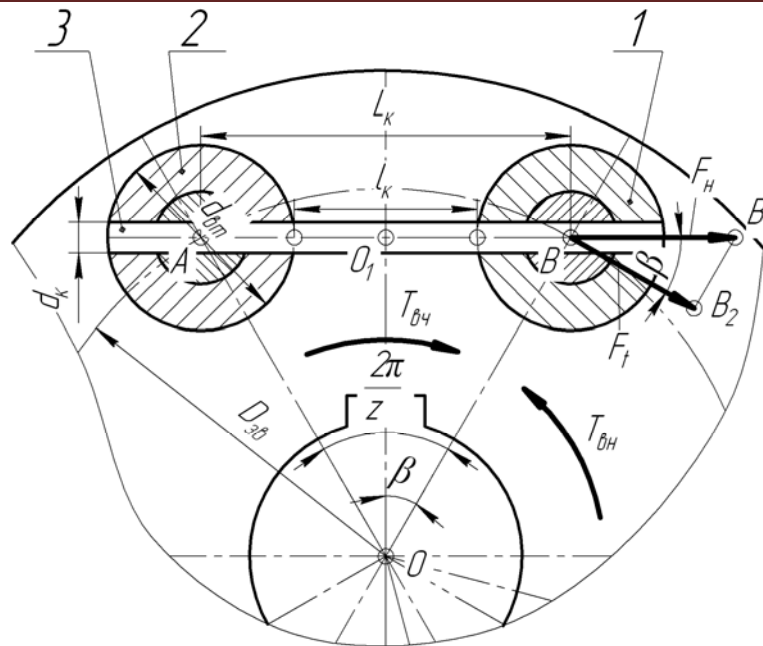


Рис.1 – Розрахункова схема муфти з торцевою установкою прямих канатів хордального розташування

З рівняння (1) отримаємо кількість канатів яку можна встановити в муфті при відомих діаметрі  $D_{3\phi}$  та довжині  $L_k$ .

$$z = \frac{\pi}{\arcsin \frac{L_k}{D_{3\phi}}} \quad (2)$$

Теоретична довжина каната  $L_k$  становить:

$$L_k = d_{em} + l_k, \quad (3)$$

де  $l_k$  – відстань між втулками «в світлі».

Приймаючи  $d_{em} = 6d_k$  та  $l_k = 8d_k$ , отримаємо  $L_k = 14 d_k$ .

Для визначення моменту  $T_x$ , який здатна передати муфта, розглянемо трикутник  $BB_2B_1$ , для якого можна записати:

$$F_H = \frac{F_t}{\cos \beta} = \frac{2T_x}{zD_{3\phi} \cos \beta} \quad (4)$$

Звідки момент, що здатна передати муфта з хордальним розташуванням канатів:

$$T_x = \frac{zD_{3\phi} \cos \frac{\pi}{z} F_H}{2} \quad (5)$$

Чисельне моделювання виконане для муфти у якій  $D_{3\phi} = 145$  мм,  $d_k = 4,0$  мм,  $d_{em} = 24$  мм. За формулою (2) знаходимо, що на діаметрі  $D_{3\phi} = 145$  мм можна розташувати  $z = 8$  канатів довжиною  $L_k \approx 56$  мм. Приймавши допустиму силу робочого натягу канатів  $F_H =$

1000 Н (для зручності обрахунку, запас міцності каната при цьому близько 8), за формулою (5) обчислимо, що ця муфта при хордальному розташуванні канатів може передавати момент  $T_x = 536$  Нм.

Розрахункова схема муфти з торцевою установкою канатів тангенціального розташування показана на рис. 2. Одними із основних вихідних даних під час перевірки зазначених умов існування муфти, крім згаданих є кут монтажного зміщення напівмуфт  $\zeta$ , який визначає навантаженість канатів та навантажувальну здатність муфти, тому за рахунок його зміни можна виконувати зміну моменту муфти. Кут  $\zeta$  визначає також виконання геометричних умов існування муфти - відсутності інтерференції втулок зовнішньої та внутрішньої напівмуфт і відсутності інтерференції канатів та суміжних втулок внутрішньої напівмуфти. Перша зі згаданих умов виконується за наявності зазору  $\kappa_3$  між ними. Друга умова виконується за наявності зазору  $\kappa_4$  між ними. Таким чином, забезпечення вказаної умови зводиться до обчислення величини відстані  $h_2$  між віссю  $S$  втулки внутрішньої напівмуфта та віссю  $AB$  каната.

$$\kappa_3 = (h_1 - d_{em}) > 0. \tag{6}$$

$$\kappa_4 = (h_2 - 0,5(d_{em} + d_k)) > 0. \tag{7}$$

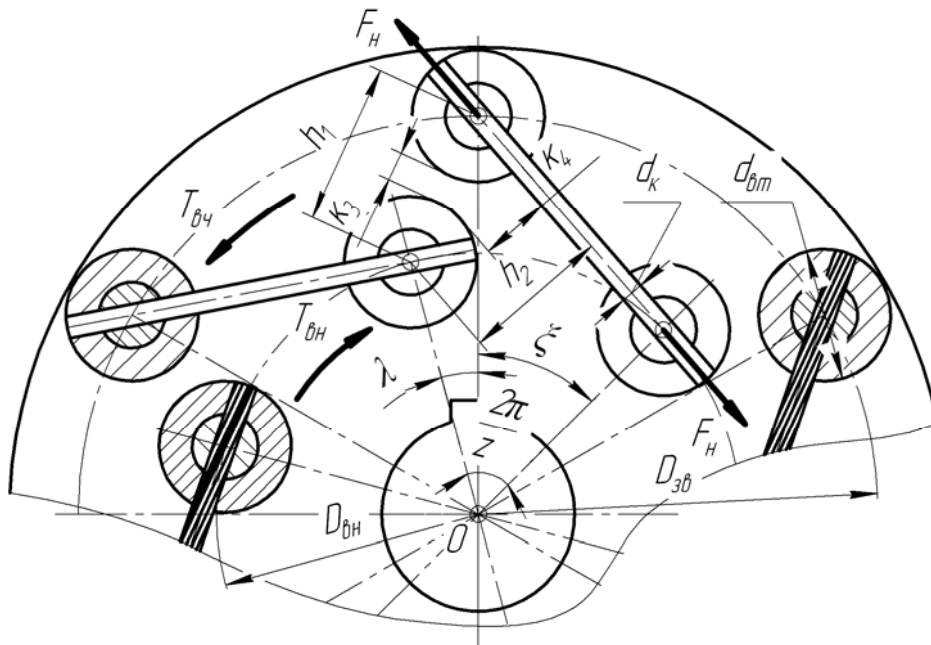


Рис. 2 – Розрахункова схема муфти з торцевою установкою прямих канатів тангенціального розташування

$$h_1 = 0,5(D_{36} - D_{6H} \cos \lambda) \times \sqrt{1 + B^2}, \quad (8)$$

$$h_2 = \frac{0,5(D_{36} - D_{6H} \cos \lambda) \times \sqrt{1 + B^2} \times C}{\sqrt{1 + C^2}}, \quad (9)$$

де

$$A = \frac{D_{6H} \sin \xi}{D_{36} - D_{6H} \cos \xi}, \quad (10)$$

$$B = \frac{D_{6H} \sin \lambda}{D_{36} - D_{6H} \cos \lambda}, \quad (11)$$

$$C = \frac{A+B}{1-A \times B}, \quad (12)$$

$$\lambda = \frac{2\pi}{z} - \xi. \quad (13)$$

Іншою умовою існування муфти з тангенціально розташованими канатами є умова забезпечення можливості затягування гайок (14) (рис. 3).

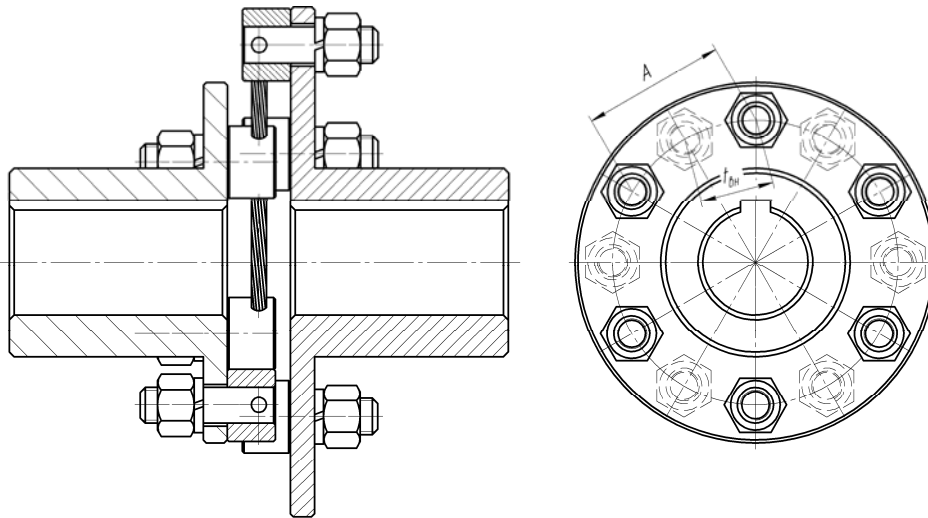


Рис. 3 – Схема до умови можливості затяжки гайок

$$t_{6H} = D_{6H} \sin \frac{\pi}{z} \geq [A], \quad (14)$$

де  $[A]$  – розмір «під ключ» згідно ГОСТ 13682-80.

Момент, що здатна передати муфта з тангенціально розташованими канатами становить:

$$T_m = \frac{z D_{36} D_{6H} \sin \xi F_H}{4 \sqrt{0,25(D_{36}^2 + D_{6H}^2) - 0,5 D_{36} D_{6H} \cos \xi}}. \quad (15)$$

Для встановлення впливу конструктивних параметрів муфт з тангенціальним розташуванням канатів було виконане чисельне моделювання за наведеними формулами (6) – (15) для кількох варіантів співвідношень конструктивних параметрів муфт.

Під час розрахунків використовували основні конструктивні параметри аналогічні муфті з хордально розташованими канатами, що наведені вище, крім цього вважали що наближено  $[A] \geq 6d_k$ . Результати чисельного моделювання наведені нижче у вигляді графіків.

Варіант 1. Кількість канатів  $z$  (8 шт.), їх натяг  $F_H$ , діаметр  $d_k$  та зовнішній габарит муфти ( $D_{зв} = 145$  мм,  $D_{вн} = 110$  мм) з тангенціально розташованими канатами відповідають кількості та параметрам канатів, а також габариту муфти-прототипу з хордально розташованими канатами. Графіки взаємного впливу конструктивних параметрів представлені на рис. 4.

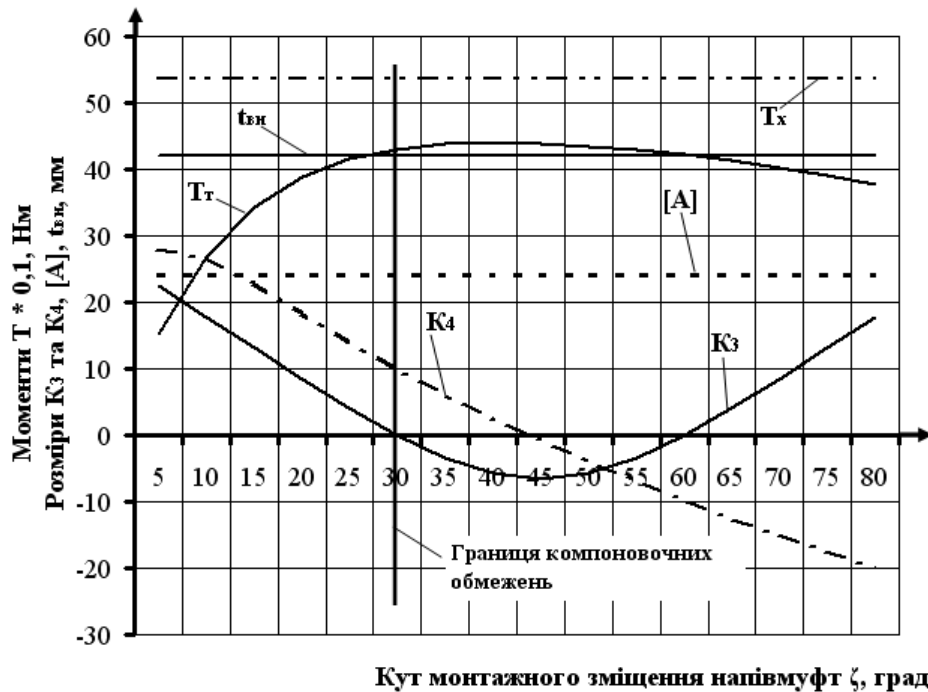


Рис. 4 – Графіки взаємного впливу конструктивних параметрів на компоновочні розміри та навантажувальну здатність муфти з тангенціально розташованими канатами по першому варіанту

Аналіз графіків представлених на рис. 4 дає можливість стверджувати, що обмеження по затягуванню гайок згідно умови (14) при такій кількості канатів відсутнє оскільки суцільна пряма лінія  $t_{вн}$

лежить вище ніж штрихова пряма [A]. Інтерференція суміжних втулок, а також канатів і втулок згідно умов (6) та (7) відсутня при кутах  $\zeta \approx 0 \dots 27^\circ$ . Лімітуючим компоновочним параметром є розрахунковий зазор  $\kappa_3$ , який при куті  $\zeta$  менше  $27^\circ$  приймає значення більше нуля (цей позиції відповідає вертикальна лінія границі компоновочних обмежень на графіку). Крім цього, графік показав, що при однакових габаритах, кількості та натягу канатів, муфта з хордальним їх розташуванням має на 18% більшу навантажувальну здатність ( $T_x = 536$  Нм) порівняно з муфтою із тангенціальним розташуванням канатів ( $T_m = 439$  Нм).

Варіант 2. Кількість канатів  $z$  у муфті з тангенціально розташованими канатами збільшена на 87,5% (з 8 до 15 шт.), а зовнішній габарит на 20% ( $D_{зв} = 175$  мм,  $D_{вн} = 145$  мм) порівняно з муфтою-прототипом із хордально розташованими канатами, діаметр канатів  $d_k$  та їх натяг  $F_n$  залишений незмінним. Графіки взаємного впливу конструктивних параметрів представлені на рис. 5.

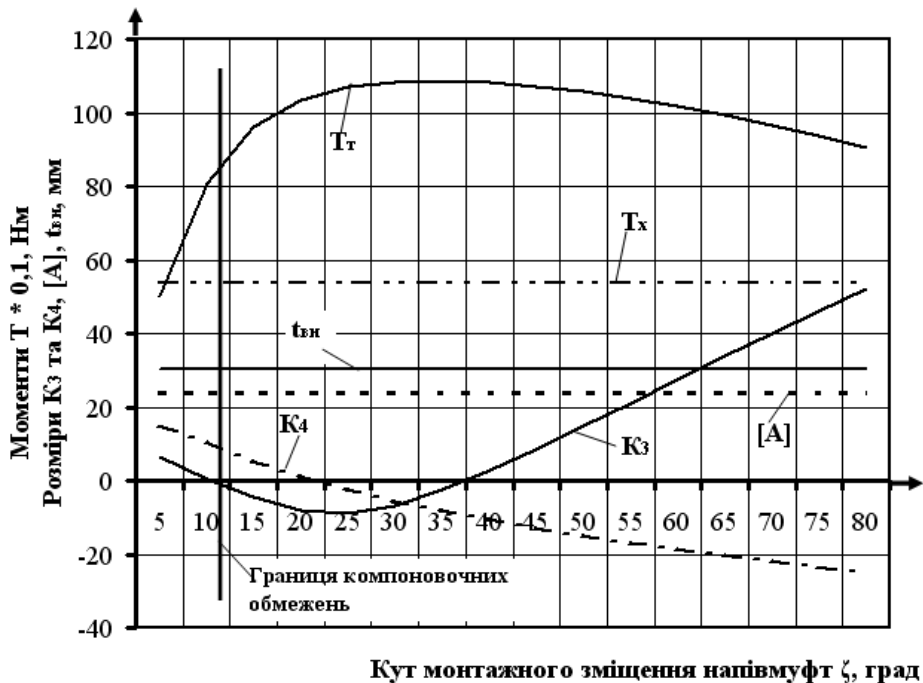


Рис. 5 – Графіки взаємного впливу конструктивних параметрів на компоновочні розміри та навантажувальну здатність муфти з тангенціально розташованими канатами по другому варіанту

Аналіз графіків на рис. 5 дає можливість стверджувати, що обмеження по затягуванню гайок в цьому варіанті також відсутні. Інтерференція суміжних втулок, а також канатів і втулок відсутня при кутах  $\zeta \approx 0 \dots 10^\circ$ . Лімітуючим компоновочним параметром є

розрахунковий зазор  $k_3$ , який при куті  $\zeta$  менше  $10^\circ$  приймає значення більше нуля (цій позиції відповідає вертикальна лінія границі компоновочних обмежень на графіку). З результатів наведених на рис. 5 можна зробити висновок, що при збільшенні габаритів муфти з тангенціально розташованими канатами на 20%, а кількості канатів на 87,5% (з 8 до 15 шт.) без зміни їх діаметра та робочого натягу, її навантажувальна здатність порівняно з муфтою оснащеною хордально встановленими канатами збільшується на 50% (з  $T_x = 536$  Нм до  $T_m = 808$  Нм).

Варіант 3. Кількість канатів  $z$  у муфті з тангенціально встановленими канатами збільшена на 100% (з 8 до 16 шт.), зовнішній габарит на 50% ( $D_{зв} = 218$  мм,  $D_{вн} = 175$  мм) порівняно з муфтою-прототипом із хордально встановленими канатами. Діаметр канатів  $d_k$  та їх натяг  $F_n$  залишений незмінним. Графіки взаємного впливу конструктивних параметрів представлені на рис. 6.

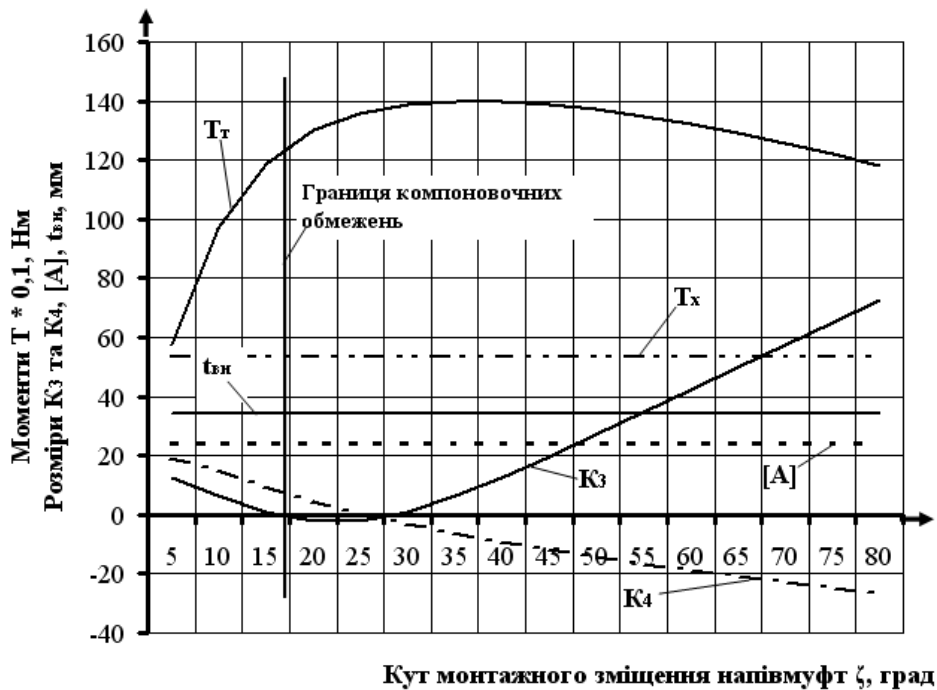


Рис. 6 - Графіки взаємного впливу конструктивних параметрів на компоновочні з тангенціально розташованими канатами розміри та навантажувальну здатність муфти по третьому варіанту

Аналіз графіків на рис. 6 дає можливість встановити, що обмеження по затягуванню гайок в цьому варіанті відсутні. Інтерференція суміжних втулок, а також канатів і втулок відсутня при кутах  $\zeta \approx 0...15^\circ$ . Лімітуючим компоновочним параметром є



розрахунковий зазор  $\kappa_3$ , який при куті  $\zeta$  менше  $15^\circ$  приймає значення більше нуля (цій позиції відповідає вертикальна лінія границі компоновочних обмежень на графіку). При збільшенні габаритів муфти з тангенціально розташованими канатами на 50%, а кількості канатів на 100% (з 8 до 16 шт.) при незмінному їх діаметрі та робочого натягу, її навантажувальна здатність порівняно з муфтою оснащеною хордально встановленими канатами збільшується на 120% (з  $T_x = 536$  Нм до  $T_m = 1200$  Нм).

Варіант 4. Кількість канатів  $z$  у муфті з тангенціально розташованими канатами збільшена на 200% (з 8 до 24 шт.), зовнішній габарит на 100% ( $D_{зв} = 290$  мм,  $D_{вн} = 230$  мм) порівняно з муфтою-прототипом із хордально розташованими канатами. Діаметр канатів  $d_k$  та їх натяг  $F_n$  залишений без зміни. Графіки взаємного впливу конструктивних параметрів представлені на рис. 7.

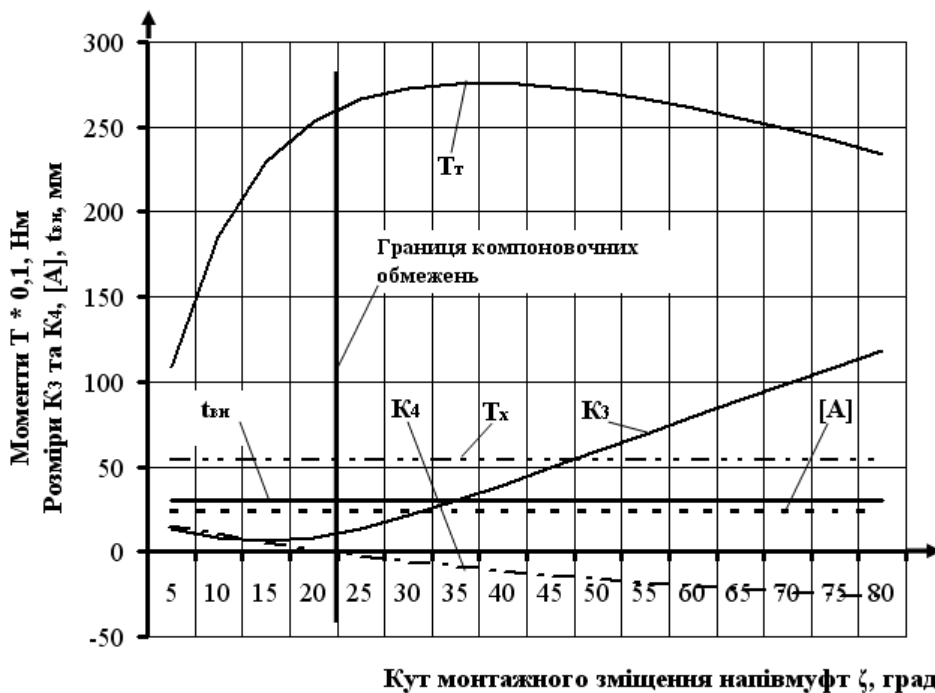


Рис. 7 – Графіки взаємного впливу конструктивних параметрів на компоновочні розміри та навантажувальну здатність муфти з тангенціально розташованими канатами по четвертому варіанту

Аналіз графіків на рис. 7 дає можливість встановити, що обмеження по затягуванню гайок в цьому варіанті відсутні, але збільшувати кількість канатів немає можливості. Інтерференція суміжних втулок, а також канатів і втулок відсутня при кутах  $\zeta \approx 0 \dots 20^\circ$ . Лімітуючим компоновочним параметром є розрахунковий зазор  $\kappa_4$ , який при куті  $\zeta$  менше  $20^\circ$  приймає значення більше нуля (цій

позиції відповідає вертикальна лінія границі компоновочних обмежень на графіку). При збільшенні габаритів муфти з тангенціально розташованими канатами на 100%, а кількості канатів на 200% (з 8 до 24 шт.) без зміни їх діаметра та робочого натягу, її навантажувальна здатність порівняно з муфтою оснащеною хордально встановленими канатами збільшується на 373% (з  $T_x = 536$  Нм до  $T_m = 2537$  Нм).

В результаті виконаних досліджень можна зробити наступні

**ВИСНОВКИ:**

1. Муфти з торцевою установкою прямих канатів різних варіантів розташування – хордального та тангенціального при однакових розмірах мають різні характеристики, тому можна виділити різні варіанти їх переважного застосування.

2. Показано, що при однакових габаритах, кількості канатів ( $z = 8$ ) та їх робочому натягу, муфта з хордальним їх розташуванням має на 18% більшу навантажувальну здатність ( $T_x = 536$  Нм) ніж муфта із тангенціальним розташуванням канатів ( $T_m = 439$  Нм).

3. Встановлено, що у муфті з тангенціально розташованими канатами при збільшенні габаритів на 20% та кількості канатів на 87,5% (з 8 до 15 шт.) при незмінному їх діаметрі та робочому натягу, навантажувальна здатність порівняно з муфтою із хордально розташованими канатами збільшується на 50% (з  $T_x = 536$  Нм до  $T_m = 808$  Нм).

4. Встановлено, що у муфті з тангенціально розташованими канатами при збільшенні габаритів на 50% та кількості канатів на 100% (з 8 до 16 шт.) при незмінному їх діаметрі та робочому натягу, навантажувальна здатність порівняно з муфтою із хордально розташованими канатами збільшується на 120% (з  $T_x = 536$  Нм до  $T_m = 1200$  Нм).

5. У муфті з тангенціально розташованими канатами при збільшенні габаритів на 100% та кількості канатів на 200% (з 8 до 24 шт.) при незмінному їх діаметрі та робочому натягу, навантажувальна здатність порівняно з муфтою оснащеною хордально розташованими канатами збільшується на 373% (з  $T_x = 536$  Нм до  $T_m = 2537$  Нм).

6. Муфти з торцевою установкою канатів тангенціального розташування слід встановлювати у приводи, що конструктивно обов'язково містять напівмуфти різного діаметру, наприклад для сполучення дизеля з напівмуфтою більшого діаметру на маховику із робочою машиною, наприклад у складі дизель-генераторів.

7. Муфти з хордальним розташуванням канатів можна рекомендувати застосування у приводах де є вимоги щодо рівності діаметрів напівмуфт, наприклад для сполучення електродвигуна із

трансмисією при наявності захисного кожуха. В такому випадку виконання напівмуфт різного діаметру є нераціональним..

**Напрямки подальших досліджень:**

1. Визначення залежності сили затиску канатів у втулках від сили затиску пальця.
2. Оцінка жорсткісних параметрів муфти з торцевими канатами тангенціального розташування.
3. Оцінка втрат енергії в муфтах з канатними пружними елементами.
4. Обґрунтування методики розрахунку канатних муфт на нагрівання.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Проценко В.О. Проектування муфти з торцевою установкою прямих канатів / В.О. Проценко // Гірничі, будівельні, дорожні, меліоративні машини. – К.: КНУБА. - 2011. – Вип. 77 – С. 44-50.
2. Проценко В.О. Геометричні умови існування муфти з торцевими канатами тангенціального розташування / В.О. Проценко, М.В. Бабій, О.Ю. Клементьєва // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. – Херсон: ХДМА. – 2015. - № 1(12) – С. 240 - 246.
3. 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.
4. Проценко В.О. Забезпечення мінімальної навантаженості канатних пружних елементів муфти при проектуванні / В.О. Проценко, О.Ю. Клементьєва // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький: ХНУ. – 2016. - №1 (233) – С. 109 -111.