

УДК 621.825

Проценко В. О., к.т.н.

Херсонська державна морська академія

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ КАНАТНО-РОЛИКОВОЇ МУФТИ

Анотація. Розроблено просту та технологічну за конструкцією муфту, що оснащена простим, дешевим і поширеним пружним елементом із відрізка сталевого каната. При обриві каната муфта розмикає кінематичний ланцюг і тим самим сигналізує про порушення працездатності і необхідність її відновлення. Конструкція муфти забезпечує простоту заміни каната та його обдув зустрічним повітрям при обертанні муфти. Обґрунтовано основні геометричні та силові параметри муфти, отримано вирази для обчислення натягу каната та навантаження деталей муфти, а також довжини каната. Досліджено взаємний вплив конструктивних параметрів муфти. В результаті показано, що муфта є малочутливою до точності виготовлення та складання.

Ключові слова: муфта, канат, неспіввісність, момент, привід.

Аннотация. Разработана простая и технологичная по конструкции муфта, которая оснащена простым, дешевым и распространенным упругим элементом из отрезка стального каната. При обрыве каната муфта размыкает кинематическую цепь и тем самым сигнализирует о нарушении работоспособности и необходимость ее восстановления. Конструкция муфты обеспечивает простоту замены каната и его обдув встречным воздухом при вращении муфты. Обоснованы основные геометрические и силовые параметры муфты, получены выражения для вычисления натяжения каната и нагрузок деталей муфты, а также длины каната. Исследовано взаимное влияние конструктивных параметров муфты. В результате показано, что муфта является малочувствительным к точности изготовления и сборки.

Ключевые слова: муфта, канат, несоосность, момент, привод.

Annotation. A simple and technology-designed coupling has been developed, which is equipped with a simple, cheap and common elastic element from a steel rope. When the rope breaks, the coupling opens the kinematic chain and thereby signals a malfunction and the need to restore it. The design of the coupling ensures the ease of replacement of the rope and its airflow by counter-air when the coupling rotates. The basic geometric and force parameters of the coupling are substantiated; expressions for calculating the rope tension and loads of the coupling parts,

as well as the length of the rope are obtained. The mutual influence of the design parameters of the coupling is investigated. As a result, it is shown that the coupling is insensitive to the accuracy of manufacturing and assembly.

Keywords: *coupling, rope, misalignment, torque, transmission.*

Вступ. Створення та впровадження муфт великої компенсуючої здатності завжди була актуальною задачею для машинобудування, як для великомасових систем, монтаж яких утруднений [1] так і для невеликих приводів із важкодоступними для регулювання елементами.

Постановка задачі. Автором розроблено муфту підвищеної компенсуючої здатності, що показана на рис. 1. Вона містить дві напівмуфти – зовнішню 1 і внутрішню 2, що сполучені відрізком каната 3, яких може бути кілька, обидва кінці 4 і 5 каната 3 закріплені у пальцях 6, що встановлені у зовнішній напівмуфті 1, а внутрішня напівмуфта 2 містить встановлені з можливістю повороту на осях 7 ролики 8, між якими розташовано канат 3, яким охоплені ролики 8.

Муфта працює наступним чином. При обертанні приводом зовнішньої напівмуфти 1 разом із нею обертаються пальці 6 і спричиняють натяг каната 3. Натягнутий канат 3, що ними охоплені ролики 8 тисне власне на них та на осі 7, створюючи момент на веденій внутрішній напівмуфті 2 та обертаючи її. У випадку виникнення неспіввісності між напівмуфтами 1 та 2, ролики 8 веденої напівмуфти 2 обкочуватимуться по канату 3 за рахунок чого відбудуватиметься компенсація неспіввісності. У випадку співвісного розташування напівмуфт обкочування роликів 8 по канату 3 не відбудуватиметься.

Канат 3 муфти обдуватиметься повітрям при обертанні муфти а при руйнуванні каната напівмуфти мають можливість безударного відносного обертання за рахунок різниці їх зовнішніх діаметрів. Деталі муфти мають просту конфігурацію і не потребують точної обробки, можуть бути виготовлені на токарному верстаті навіть в судових умовах. Заміна каната 3 не викликає труднощів – для цього потрібно лише викрутити два гвинти, що кріплять його кінці 4 та 5 у пальцях 6.

Обґрунтування геометричних та силових параметрів представленої муфти становить мету даної роботи.

Виклад основного матеріалу. Для силових співвідношень можна записати вираз:

$$T_{вч} = 2L_{OP}F_n = T_{вн} = 2L_{OP}F_r, \quad (1)$$

де F_n - сила натягу каната;

F_r - сила, що діє з боку віток каната на ролик.

Відповідно натяг каната становить:

$$F_n = \frac{T}{2L_{OP}} \cdot \quad (2)$$

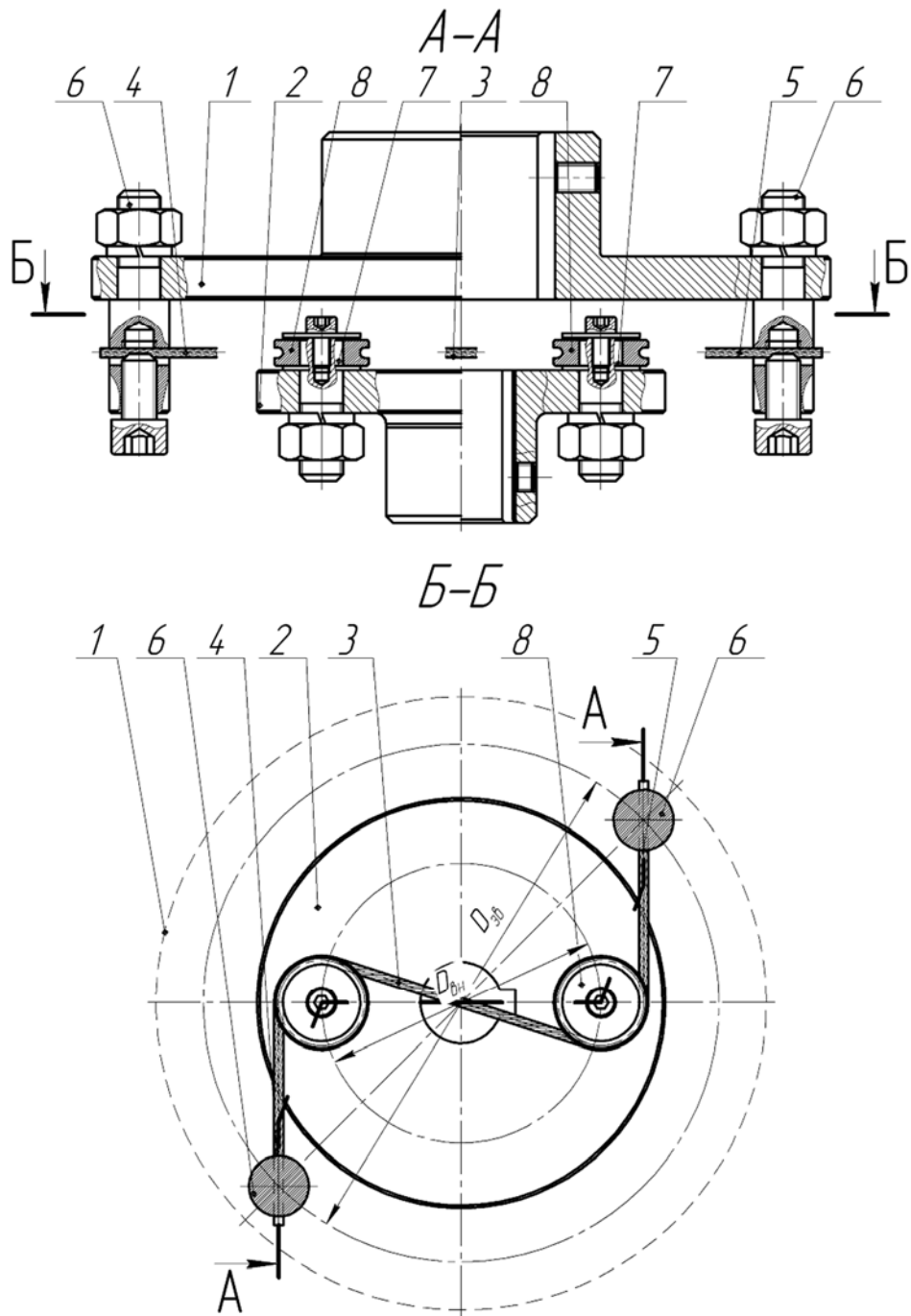


Рисунок 1 – Загальний вид канатно-роликової муфти

Сила F_r , що навантажує осі роликів, як діагональ силового ромба з вершиною в точці B , становить:

$$F_r = F_n \sqrt{2 + 2 \cos \beta_1} . \quad (3)$$

Тобто задача силового розрахунку такої муфти та оцінки міцності її елементів потребує визначення кута β_1 та відстані L_{OP} , що виконано нижче на основі аналізу геометричних параметрів муфти.

З метою уможливлення силового розрахунку муфти розглянемо її геометричні параметри та визначимо їх взаємний вплив (рис. 3).

Вихідні дані, зрозумілі з рис. 2, наступні:

$$BR = BS = 0,5d_p, \quad OB = 0,5D_{вн}, \quad OA = 0,5D_{зв},$$

ξ - кут монтажного зміщення напівмуфт - кут між радіусами на яких закріплено кінці канатів та осі роликів.

З трикутника OAB за теоремою косинусів запишемо:

$$AB = \sqrt{OA^2 + OB^2 - 2OA \times OB \times \cos \xi} , \quad (4)$$

$$\text{або } L_{AB} = \sqrt{0,25(D_{зв}^2 + D_{вн}^2) - 0,5D_{зв}D_{вн} \cos \xi} .$$

Для визначення інших параметрів розглянемо подібність ряду трикутників за рівністю двох кутів (кут PLR у них спільний, а кути LRK, LSB, LMA прями):

$$\triangle OPK \sim \triangle LRK \sim \triangle LMA \sim \triangle LBS . \quad (5)$$

З метою визначення навантажень деталей муфти розглянемо її силову схему (рис. 2). Вона містить ведучу напівмуфту 1 більшого діаметра в якій на діаметрі $D_{зв}$ закріплені кінці каната 2. Канатом 2 охоплені два ролики (блоки) 3 діаметром d_p (діаметр по центру каната), які встановлені з можливістю обертання на осях 4 діаметром d_o , що запресовані у ведену напівмуфту на діаметрі $D_{вн}$.

В той же час:

$$\beta_1 = 180 - \beta_2 , \quad (6)$$

а кути $LKO = LAM = \beta_2$ як відповідні ($AM \parallel OP$; AL - січна).

З трикутника LMA можна записати:

$$\beta_2 = \beta_5 + \beta_6 + \beta_7 . \quad (7)$$

Отже задача відшукування кута β_1 зводиться до знаходження складових кута β_2 .

На наступному етапі розглянемо трикутник ORB , для нього можна записати:

$$\beta_3 = \arcsin \frac{d_p}{D_{ai}}. \quad (8)$$

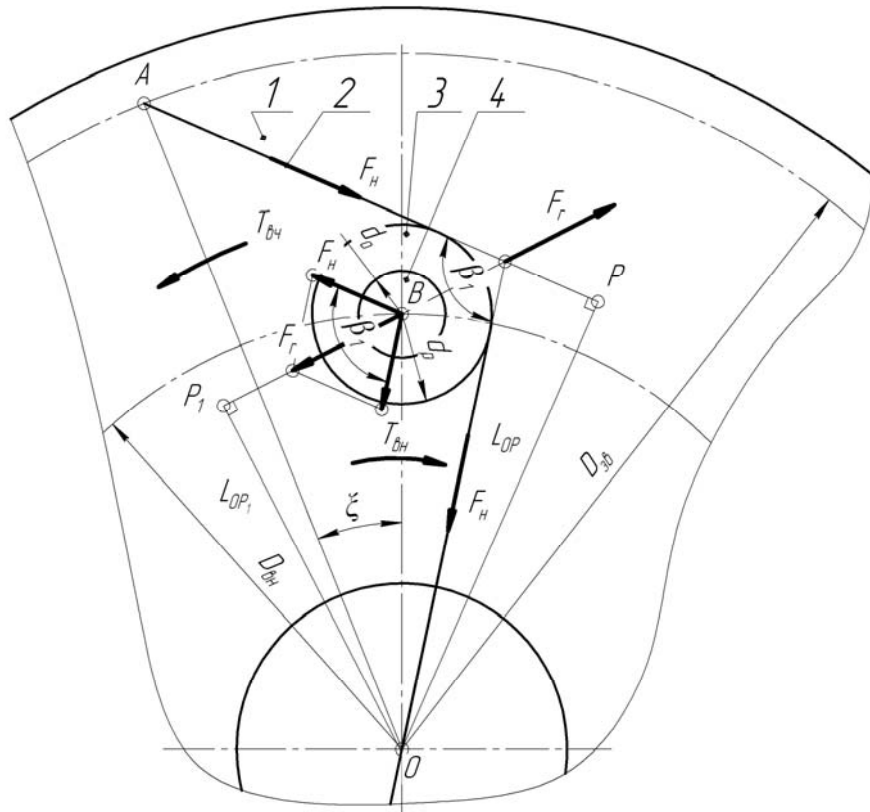


Рисунок 2 – Силовая схема муфты

В той же час з трикутника ORN :

$$\beta_4 = 90 - \xi - \beta_3 = 90 - \xi - \arcsin \frac{d_p}{D_{вн}}. \quad (9)$$

Тоді з трикутника NMA :

$$\beta_5 = 90 - \beta_4 = \xi + \beta_3 = \xi + \arcsin \frac{d_p}{D_{вн}}. \quad (10)$$

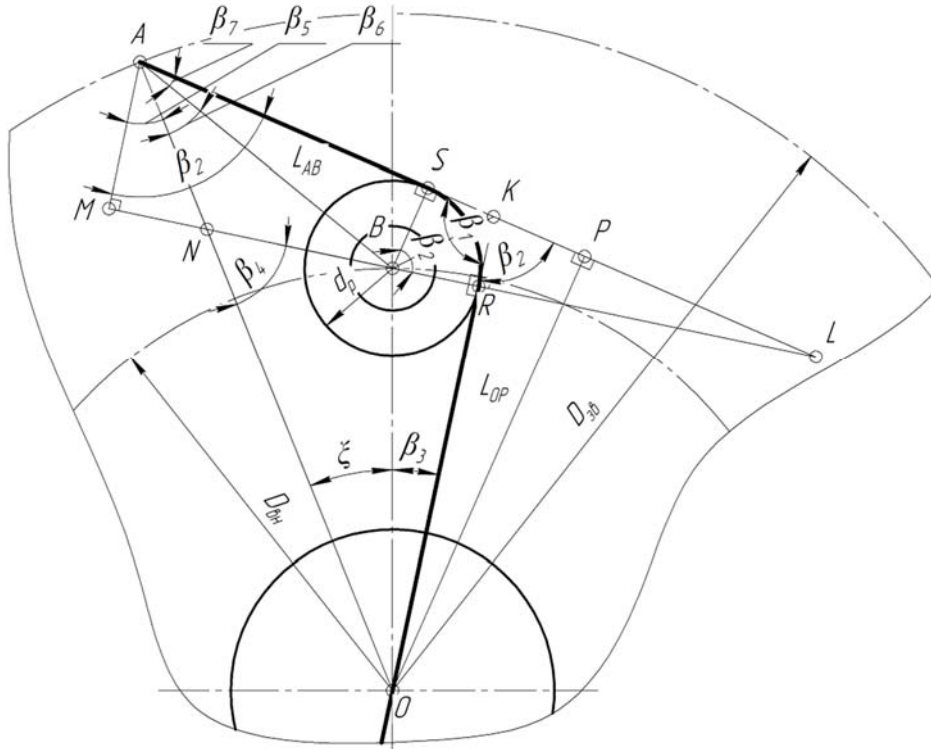


Рисунок 3 – Схема до геометричного розрахунку муфти

З трикутника OBA :

$$\beta_6 = \arcsin\left(\frac{OB}{AB} \sin \xi\right) = \arcsin\left(\frac{0,5D_{gh}}{L_{AB}} \sin \xi\right). \quad (11)$$

З трикутника BSA :

$$\beta_7 = \arcsin\left(\frac{BS}{AB}\right) = \arcsin\left(\frac{0,5d_p}{L_{AB}}\right). \quad (12)$$

Після підстановки (8), (11) та (12) у вирази (6) та (7) матимемо:

$$\begin{aligned} \beta_2 &= \xi + \beta_3 + \beta_6 + \beta_7 = \\ &= \xi + \arcsin\left(\frac{d_p}{D_{gh}}\right) + \arcsin\left(\frac{0,5D_{gh}}{L_{AB}} \sin \xi\right) + \arcsin\left(\frac{0,5d_p}{L_{AB}}\right), \end{aligned} \quad (13)$$

$$\beta_1 = 180 - \xi - \arcsin\left(\frac{d_p}{D_{gh}}\right) - \arcsin\left(\frac{0,5D_{gh}}{L_{AB}} \sin \xi\right) - \arcsin\left(\frac{0,5d_p}{L_{AB}}\right). \quad (14)$$

Для знаходження плеча OP розглянемо трикутник ORB :

$$OR = OB \cos \beta_3 = 0,5D_{gh} \cos \beta_3 = 0,5D_{gh} \cos\left(\arcsin\left(\frac{d_p}{D_{gh}}\right)\right). \quad (15)$$

З трикутника KRB :

$$KR = \frac{BR}{\operatorname{tg} \frac{\beta_1}{2}} = \frac{0,5d_p}{\operatorname{tg} \frac{\beta_1}{2}}. \quad (16)$$

В той же час:

$$OK = OR + KR = 0,5D_{\text{вн}} \cos \left(\arcsin \frac{d_p}{D_{\text{вн}}} \right) + \frac{0,5d_p}{\operatorname{tg} \frac{\beta_1}{2}}. \quad (17)$$

З трикутника OPK :

$$\begin{aligned} L_{OP} = OP &= OK \sin \beta_2 = \\ &= 0,5 \sin \beta_2 \left[D_{\text{вн}} \cos \left(\arcsin \frac{d_p}{D_{\text{вн}}} \right) + \frac{d_p}{\operatorname{tg} \frac{\beta_1}{2}} \right] = \\ &= 0,5 \sin \beta_2 \left[D_{\text{вн}} \cos \left(\arcsin \frac{d_p}{D_{\text{вн}}} \right) + \frac{d_p}{\operatorname{ctg} \frac{\beta_2}{2}} \right] = \\ &= 0,5 \sin \beta_2 \left[D_{\text{вн}} \cos \left(\arcsin \frac{d_p}{D_{\text{вн}}} \right) + d_p \operatorname{tg} \frac{\beta_2}{2} \right] \end{aligned} \quad (18)$$

Теоретична довжина каната:

$$L_{\kappa} = 2ORSA = 2(OR + RS + SA). \quad (19)$$

З трикутника BSA маємо:

$$SA = AB \cos \beta_7 = L_{AB} \cos \left(\arcsin \frac{0,5d_p}{L_{AB}} \right). \quad (20)$$

Відстань RS як довжина дуги становить:

$$RS = \frac{\pi d_p}{360} \beta_2. \quad (21)$$

Тоді:

$$L_{\kappa} = 2 \left(0,5D_{\text{вн}} \cos \beta_3 + \frac{\pi d_p}{360} \beta_2 + L_{AB} \cos \beta_7 \right). \quad (22)$$

За отриманими формулами виконане моделювання параметрів муфти для передачі обертового моменту $T = 16$ Нм (потужність

двигуна $N = 6,0$ кВт при $n = 3550$ об/хв), як альтернативи муфті KTR ROTEX size 28 гвинтового насоса бустерного модуля.

Розміри муфти з умови розміщення на місці базової муфти в проміжному корпусі прийняті наступними $D_{зв} = 120$ мм, $D_{вн} = 65$ мм, $d_p = 20$ мм, $d_o = 10$ мм, передбачена установка каната 2,2-Г-Н-О-Р 1770 ГОСТ 3069-80 у якого розривне зусилля $F_{розр} = 2555$ Н. За попередніми підрахунками, вартість одної такої муфти становитиме не більше 45 USD, тобто вона майже вдвічі дешевша ніж базова муфта з пружною зірочкою.

На першому етапі дослідження взаємного впливу конструктивних та силових параметрів муфти вивчався вплив кута монтажного зміщення ζ на навантаженість елементів муфти. При цьому при незмінних інших розмірах муфти кут ζ змінювався в межах $10^\circ \dots 105^\circ$ та виконувався розрахунок сили натягу каната F_n , як основного силового фактора, що визначає навантаженість муфти. Результати моделювання представлені графіком на рис. 4. З графіка видно, що найменший натяг каната забезпечено при значенні кута ζ близько 50° , а отримана раніше [2] для муфт з торцевою установкою канатів тангенціального розташування формула (23) дає результат у $57,2^\circ$.

$$\xi_F = \arccos \frac{1}{\psi_D} = \arccos \frac{D_{вн}}{D_{зв}}, \quad (23)$$

де $\psi_D = \frac{D_{зв}}{D_{вн}}$ - коефіцієнт діаметрів муфти.

Проте сила натягу каната при $\zeta = 50^\circ$ становить $F_n = 188,8$ Н, а при $\zeta = 57,2^\circ$ - $F_n = 191,1$ (різниця 1,2%), що дозволяє рекомендувати формулу (23) для попереднього вибору кута ζ .

На рис. 4 також показано залежність довжини каната L_k від кута ζ . Цей графік також демонструє, що пропонована муфта є мало чутливою до точності відрізки каната – так при зміні кута ζ від 25° до 100° потрібна довжина каната L_k зростає зі 155 мм до 260 мм (на 68%), а натяг канатів F_n збільшиться від 200 Н до 239 Н (на 20%).

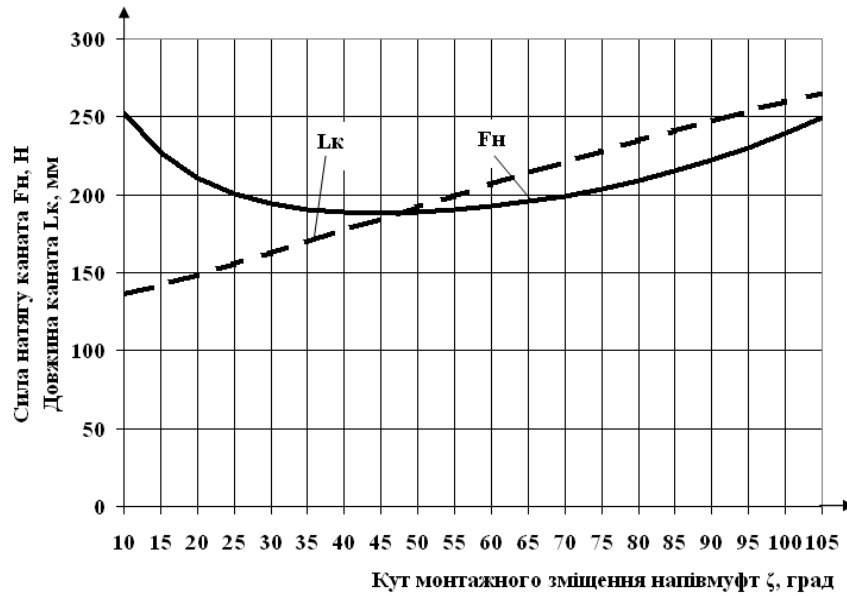


Рисунок 4 – Графік залежності сили натягу каната F_n та довжини каната L_k від величини кута монтажного зміщення напівмуфт ζ

На рис. 5 показано графік впливу на навантаженість елементів муфти коефіцієнта діаметрів ψ_D (при $\zeta = 50^\circ$ та незмінних інших параметрах крім $D_{зв}$). З наведеного графіка видно, що велику різницю між діаметрами $D_{зв}$ та $D_{вн}$ робити недоцільно – при збільшенні коефіцієнта діаметрів ψ_D з 1,6 до 3,2 (в 2 рази) натяг канатів F_n з 192 Н збільшується до 195 Н (на 1,6 %).

Рис. 7 ілюструє вплив на навантаженість муфти діаметра ролика d_p та демонструє, що при збільшенні його діаметра навантаженість муфти знижується оскільки збільшується плече OP дії сили натягу F_n , однак вплив цей не можна вважати значним – при збільшенні діаметра ролика d_p з 12 мм до 36 мм (в 3 рази) сила натягу F_n знижується зі 208 Н до 162 Н (на 22%). Зрозуміло, що діаметр ролика потрібно узгоджувати з діаметром каната для уникнення його передчасного руйнування.

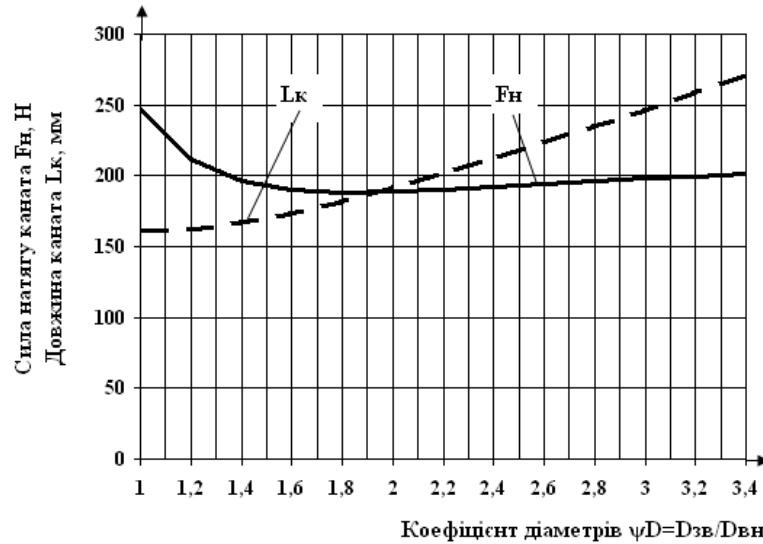


Рисунок 6 – Графік залежності сили натягу каната F_n та довжини каната L_k від величини коефіцієнта діаметрів ψ_D

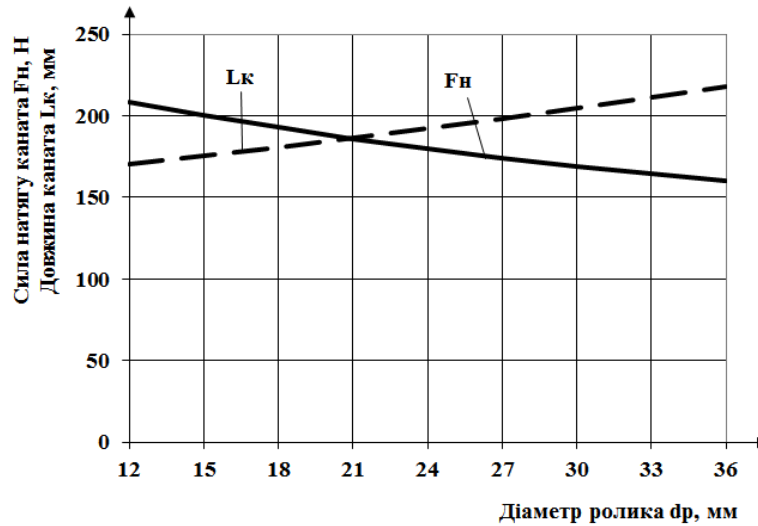


Рис. 10 – Графік залежності сили натягу каната F_n та довжини каната L_k від діаметра ролика d_p

З отриманих результатів можна зробити наступні висновки:

1. Розроблено просту та технологічну за конструкцією муфту, що оснащена простим, дешевим і поширеним пружним елементом із відрізка сталевго каната. Це дає можливість їй працювати в умовах високих температур та агресивних середовищ, забезпечує можливість виконувати її виготовлення та ремонт навіть в суднових умовах. При обриві каната муфта розмикає кінематичний ланцюг і тим самим сигналізує про порушення працездатності і необхідність її

відновлення. Конструкція муфти забезпечує простоту заміни каната та його обдуб зустрічним повітрям при обертанні муфти.

2. Обґрунтовано основні геометричні та силові параметри муфти, отримано вирази для обчислення натягу каната та навантаження деталей муфти, а також довжини каната.

3. Досліджено взаємний вплив конструктивних параметрів муфти. В результаті показано, що муфта є малочутливою до точності виготовлення та складання:

- для модельної муфти при зміні кута ζ монтажного зміщення від 25° до 100° потрібна довжина каната L_k зростає зі 155 мм до 260 мм (на 68%), а натяг канатів F_n збільшиться лише від 200 Н до 239 Н (на 20%);

- при збільшенні діаметра ролика d_p навантаженість муфти знижується оскільки збільшується плече дії сили натягу F_n , однак вплив цей не можна вважати значним – при збільшенні діаметра ролика d_p з 12 мм до 36 мм (в 3 рази) сила натягу F_n знижується зі 208 Н до 162 Н (на 22%);

- велику різницю між діаметрами напівмуфт $D_{зв}$ та $D_{вн}$ з точки зору зниження завантаженості муфти робити недоцільно – при збільшенні коефіцієнта діаметрів ψ_D з 1,6 до 3,2 (в 2 рази) натяг канатів F_n з 192 Н збільшується до 195 Н (на 1,6 %);

- за наявності радіальної неспіввісності відбуватиметься перекочування роликів по канату та компенсація цієї неспіввісності без шкоди для самої муфти та поєднаних нею агрегатів, однак це питання потребує додаткового дослідження.

Потребують вирішення питання:

- вивчення роботи муфти в умовах не співвісності, зокрема видовження в таких умовах каната та навантаження муфтою валів;
- оцінки міцності деталей муфти та розроблення алгоритму її проектування;
- експериментальні дослідження муфти.

ЛІТЕРАТУРА

1. Малащенко В.О., Куновський Г.П. Навантажувальна здатність приводів великомасових систем. Монографія. – Лівів: «Новий світ-2000», 2016. – 150 с.
2. 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 - 297.