

УДК 621.825.(075.8)

РОЗПОДІЛЕННЯ ПИТОМОГО НАВАНТАЖЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ТЕРТЯ ЗАПОБІЖНИХ ФРИКЦІЙНИХ МУФТ ПІДВИЩЕНОЇ НАВАНТАЖУВАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ

**В.О. Малащенко, проф., д.т.н., Н.В. Іванус, асп., Національний університет
«Львівська політехніка»; Є.С. Венцель, проф., д.т.н., О.В. Щербак, доц., к.т.н.,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет**

Анотація. Досліджено закономірності розподілення питомого навантаження поверхонь тертя фрикційної муфти підвищеної навантажувальної здатності для різноманітних машин, що обладнуються двигунами внутрішнього згорання, та механічних приводів для рівномірного їх спрацювання, що збільшує їх довговічність.

Ключові слова: фрикційні муфти, навантажувальна здатність, геометричні параметри.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ ФРИКЦИОННЫХ МУФТ ПОВЫШЕННОЙ НАГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ

**В.А. Малащенко, проф., д.т.н., Н.В. Иванус, асп., Национальный университет
«Львовская политехника», Е.С. Венцель, проф., д.т.н., О.В. Щербак,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет**

Аннотация. Исследованы закономерности распределения удельной нагрузки поверхностей трения фрикционной муфты повышенной нагрузочной способности для различных машин, оборудованных двигателями внутреннего сгорания, и механических приводов для равномерного их износа, что увеличивает их долговечность.

Ключевые слова: фрикционные муфты, нагрузочная способность, геометрические параметры.

DISTRIBUTION OF THE SPECIFIC LOAD OF THE FRICTION SURFACE OF THE SAFETY FRICTION CLUTCH OF HIGH LOAD CAPACITY

**V. Malashenko, Prof., D. Sc. (Eng.), N. Ivanus, P. G., National University
«Lviv Polytechnic», Ye. Venzel, Prof., D. Sc. (Eng.), O. Scherbak, Assoc. Prof.,
Ph. D. (Eng.), Kharkiv National Automobile and Highway University**

Abstract. The regularities of specific load distribution of the friction clutch surfaces of increased load capacity for a variety of machines that are equipped with internal combustion engines and mechanical drives for their even wear are studied.

Key words: friction clutch, carrying capacity, geometrical parameters.

Вступ

У багатьох машинах і механізмах застосовуються муфти, які є відповідальними складальними одиницями, бо від правильного вибору їх типів і параметрів залежить рівень та

характер завантаженості деталей машин. Фрикційні муфти, поряд із багатьма іншими типами муфт, використовуються в різних галузях машинобудування, у тому числі в будівельних, землерийних машинах. Широкому застосуванню фрикційних запобіжних

муфт сприяли їх функціональні можливості, а саме: плавне включення ведучих і ведених частин привода, регулювання в широких діапазонах величини тертя між їх фрикційними поверхнями, значні величини моменту, що передаються муфтою.

Аналіз публікацій

Розробці конструкцій та опису принципу їх функціонування присвячені роботи [1–6, 8–11], де запропоновано нові запобіжні фрикційні муфти підвищеної навантажувальної здатності. Залишкові явища в багатодискових фрикційних муфтах під час вимикання розглянуто в роботах [7, 12]. Нові запобіжні механізми металооброблювального обладнання запропоновано в роботі [13]. У статтях [15, 16] розроблено метод розрахунку фрикційної запобіжної муфти підвищеної точності спрацьовування та розвинуто конструкцію однодискових муфт зчеплення. Загальний опис конструкцій та основні параметри муфт цього класу детально розкрито в підручнику [14 та ін.] і стандартизовано [17, 18].

Мета і постановка завдання

На основі результатів відомих досліджень можна стверджувати, що особливе місце в цих роботах розглядаються запобіжні дискові фрикційні муфти, важливою вимогою до проектування яких є забезпечення мінімальних габаритів і маси, але з підвищеною навантажувальною здатністю.

Проектування запобіжних дискових фрикційних муфт може бути ефективним, а затрати на їх доводку до експлуатаційних характеристик – мінімальними, якщо мати у своєму розпорядженні аналітичні залежності між основними параметрами муфти, що дозволяють із достатньою точністю виконати інженерні розрахунки та розробити їх конструкції.

Внаслідок своїх функціональних можливостей запобіжні фрикційні муфти часто використовують як з'єднувальні елементи в різноманітних машинах та механізмах, і тому їх габарити можуть мати вирішальне значення. Це спонукало до вибору та пошуку раціонального розв'язку задачі з дослідження можливостей рівномірного розподілення питомого навантаження їх поверхонь тертя.

Дослідження фрикційної муфти

Об'єктом досліджень у поставленому завданні є дискова фрикційна муфта, наведена на рис. 1. Вона складається з півмуфти 1, що закріплюється на кінці вала двигуна, та має шліци, за допомогою яких закріплюються ліва і права частини самовстановлюваного проміжного диска 2. На внутрішніх поверхнях цього диска виконані заглиблення круглого поперечного перерізу. У цих отворах розміщені пружні елементи 3. Друга півмуфта складається з корпусу 4 і кришки 5, які з'єднані між собою за допомогою нарізки з установкою між ними спеціальних прокладок 6 для регулювання величини попередньої сили затягування пружин. Виступи проміжного диска входять у западини корпусу 4 і кришки 5 та, внаслідок виникнення на поверхнях дотику сили тертя, передають заданий обертальний момент. Кількість виступів і кути їх нахилу можуть бути довільними. Цей показник пропонується обирати в кожному конкретному випадку залежно від величини робочого обертального моменту. Однак це не розв'язує задачу збільшення довговічності муфт цього класу за рахунок рівномірного розподілення питомого навантаження між парами тертя.

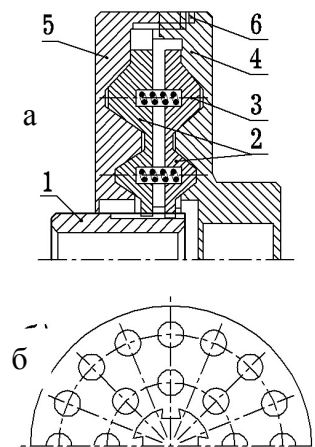


Рис. 1. Конструкція запобіжної фрикційної муфти: а – переріз загального вигляду; б – вид на внутрішній торець частини проміжного диска

Беручи до уваги специфіку роботи запобіжних фрикційних муфт, у яких геометричні параметри безпосередньо залежать від силових співвідношень, розглянемо розподіл навантажень у радіальному напрямку фрикційних дисків для конструкції, наведеної на рис. 1. У цьому разі є можливість розглянути тільки одну, а саме ліву частину муфти.

Розроблена розрахункова схема наведена на рис. 2, на якій є сили, що діють на ліву частину проміжного диска та кришку муфти. Підставою для розрахунків служить аналіз зусиль, що виникають на поверхнях дотику після затягування нарізи муфти до робочого стану. Якщо кути нахилу фрикційних поверхонь, звернених до та від осі муфти, виконати однаковими, то отримаємо силовий трикутник для першого виступу, що мінімально віддалений від осі муфти (рис. 1).

При цьому $N'_1 = N_1$ – сили нормального тиску на фрикційних поверхнях першого виступу, Q_1 – сила пружин, що діє на перший виступ паралельно до осі муфти. Така схема навантаження приводить до того, що фрикційні поверхні на різних рівнях завантажені нерівномірно (рис. 2), адже $N'_1 = N_1$, а площа нижньої поверхні виступу менше площі його верхньої поверхні (на підставі аналізу рис. 2).

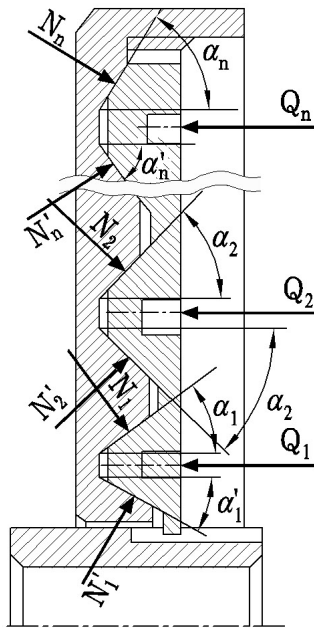


Рис. 2. Розрахункова схема для лівої півмуфти

Для рівномірного навантаження нижньої фрикційної поверхні першого виступу (зверненого до осі муфти) необхідно зменшити N'_1 і збільшити N_1 . За незмінного кута α'_1 і виконання умови $\alpha'_1 > \arctg f$ отримаємо силовий трикутник для першого виступу, якщо $\alpha'_1 \neq \alpha_1$.

У результаті зменшення N'_1 та збільшення N_1 , після замкнення трикутника сил, для забезпечення силової рівноваги, збільшилися сила Q_1 та кут α_1 .

Отже, для рівномірного навантаження фрикційних поверхонь у міру віддалення їх від осі муфти необхідно змінювати величину площі доторкання елементів тертя. Оскільки зміна кутів нахилу фрикційних поверхонь приводить до зміни сил пружних елементів, що діють на відповідні поверхні контакту для всіх n виступів, то вони при цьому залежать також від геометричних характеристик муфти. Для визначення площі поверхні першого виступу розроблено розрахункову схему, наведену на рис. 3.

Верхня поверхня контакту утворюється в результаті обертання лінії C_1D_1 навколо осі OX . На ділянці m поверхня контакту може бути визначена за формулою

$$A_1 = 2\pi \int_0^m f_2(x) \sqrt{1 + f_2'^2(x)} dx, \quad (1)$$

де A_1 – площа верхньої поверхні контакту першого виступу; $f_2(x)$ – рівняння прямої, що утворює верхню поверхню контакту; m – осьова довжина виступу.

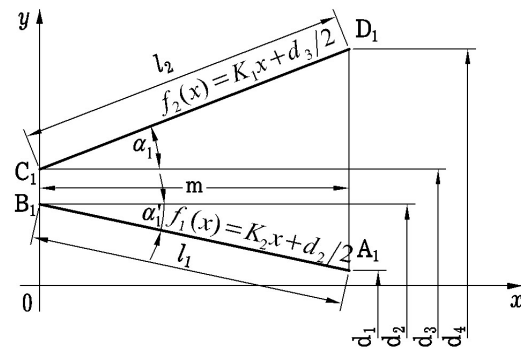


Рис. 3. Розрахункова схема для визначення площі поверхні для першого виступу

Із рис. 3 маємо залежності

$$f_2(x) = K_1 x + \frac{d_3}{2}; \quad (2)$$

$$f_2'(x) = K_1 = \operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{d_4 - d_3}{2m}, \quad (3)$$

де d_3 і d_4 – найменший та найбільший діаметри фрикційної поверхні, зверненої до осі муфти.

Із урахуванням (2), (3) рівняння (1) набуде вигляду

$$S_1 = 2\pi \int_0^m (K_1 x + \frac{d_2}{2}) \sqrt{1 + K_1^2} dx = \pi \cdot l_2 d_{cp2}, \quad (4)$$

де l_2 – довжина контакту верхньої частини першого виступу; d_{cp2} – середній діаметр верхньої частини першого виступу.

Подібно до (4) запишемо площу поверхні контакту нижньої частини першого виступу

$$S_2 = \pi \cdot l_1 d_{cp1}; \quad d_{cp1} = \frac{d_1 + d_2}{2}; \quad d_{cp1} = \frac{d_3 + d_4}{2}. \quad (5)$$

Загальна площа поверхні контакту першого виступу

$$S_3 = S_1 + S_2 = \pi(l_1 d_{cp1} + l_2 d_{cp2}). \quad (6)$$

Загальна площа контакту n -го виступу

$$S_n = S_{n1} + S_{n2} = \pi(l_{n1} d_{cpn1} + l_{n2} d_{cpn2}), \quad (7)$$

де S_n – загальна площа поверхні n контакту n -го виступу; l_{n1}, l_{n2} – довжини похилих бокових ліній n -го виступу; d_{cpn1}, d_{cpn2} – середні діаметри n -го виступу відповідно нижньої й верхньої частин.

Тепер знайдемо залежність кутів нахилу похилих АВ, СД від геометричних характеристик муфти, дотримання якої забезпечить рівномірне завантаження фрикційних поверхонь. Проведений розрахунок зручно почати з першого виступу.

Нехай задано α'_1 (рис. 3). Здебільшого α'_1 вигідно брати в межах $\alpha'_1 = 12^\circ \div 15^\circ$. Відповідно до (5) для нижньої частини першого виступу маємо вираз

$$S_2 = \pi \cdot l_1 (d + 2b_1 + q_1) = \pi \frac{q_1}{\sin \alpha'_1} (d + 2b_1 + q_1). \quad (8)$$

Для верхньої частини першого виступу маємо

$$S_1 = \pi \cdot l_1 (d + 2b_1 + 2q_1 + 2u_1 + z_1) = \frac{\pi \cdot z_1}{\sin \alpha_1} (d + 2b_1 + 2q_1 + 2u_1 + z_1). \quad (9)$$

Переходячи до силового аналізу, запишемо залежність сили тертя на нижній частині поверхні першого виступу від дії сили N'_1 у загальному вигляді

$$F_{tp2} = N_1 f = \pi \cdot f [p] \frac{z_1}{\sin \alpha_1} (d + 2b_1 + 2q_1 + 2u_1 + z_1), \quad (10)$$

а допустиме питоме навантаження дорівнює

$$[p] = \frac{F_{tp1}}{\pi \cdot f \frac{q_1}{\sin \alpha'_1} (d + 2b_1 + q_1)} = \frac{F_{tp2}}{\pi \cdot f \frac{z_1}{\sin \alpha_1} (d + 2b_1 + 2q_1 + 2u_1 + z_1)}. \quad (11)$$

Аналітичний вираз (11) виражає співвідношення між силами тертя на першому виступі та його геометричними характеристиками; при цьому він є умовою рівності $[p]$ на всіх фрикційних поверхнях першого виступу.

Після спрощення (11) отримуємо

$$F_{tp1} \frac{z_1}{\sin \alpha_1} (d + 2b_1 + 2q_1 + 2u_1 + z) = F_{tp2} \frac{q_1}{\sin \alpha'_1} (d + 2b_1 + q_1). \quad (12)$$

За теоремою синусів, згідно з рис. 3, маємо

$$\frac{N_1}{\sin(90^\circ - \alpha'_1)} = \frac{N'_1}{\sin(90^\circ - \alpha_1)}; \quad (13)$$

$$N_1 = \frac{N'_1 \cos \alpha'_1}{\cos \alpha_1}. \quad (14)$$

Враховуючи (14), рівняння (12) набуде такого вигляду

$$\frac{z_1}{\sin \alpha_1} (d + 2b_1 + 2q_1 + 2u_1 + z_1) = \frac{q_1}{\sin \alpha'_1} (d + 2b_1 + q_1) \cdot \frac{\cos \alpha'_1}{\cos \alpha_1}, \quad (15)$$

а після деякого спрощення виразу (15) отримуємо

$$z_1 (d + 2b_1 + 2q_1 + 2u_1 + z_1) = q_1 (d + 2b_1 + q_1) \operatorname{tg} \alpha_1 \cdot \operatorname{ctg} \alpha'_1, \quad (16)$$

або

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha_1 &= \frac{z_1(d + 2b_1 + 2q_1 + 2u_1 + z_1)}{q_1(d + 2b_1 + 9q_1) \cdot \operatorname{ctg} \alpha'_1} \\ \alpha_1 &= \operatorname{arctg} \frac{z_1(d + 2b_1 + 2q_1 + 2u_1 + z_1)}{q_1(d + 2b_1 + q_1) \cdot \operatorname{ctg} \alpha'_1} \end{aligned} \quad (17)$$

Тепер запишемо необхідну умову рівномірності розподілення питомого навантаження на фрикційних поверхнях для другого виступу, використовуючи приведену вище методику для першого виступу

$$\begin{aligned} \frac{z_2}{\sin \alpha_2} (d + 2b_1 + 2q_1 + 2u_1 + 2b_2 + 2q_2 + 2u_2 + z_2) = \\ = \frac{q_2}{\cos \alpha_2} \operatorname{ctg} \alpha'_2 (d + 2b_1 + 2q_1 + 2u_1 + 2z_1 + 2b_2 + q_2). \end{aligned} \quad (18)$$

Помножимо ліву і праву частини виразу (18) на $\sin \alpha_2$ і отримаємо

$$\begin{aligned} z_2(d + 2b_1 + 2q_1 + 2u_1 + 2z_1 + 2b_2 + 2q_2 + \\ + 2u_2 + z_2) = q_2(d + 2b_1 + 2q_1 + 2u_1 + 2z_1 + \\ + 2b_2 + q_2) \operatorname{tg} \alpha_2 \operatorname{ctg} \alpha'_2, \end{aligned} \quad (19)$$

або

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha_2 = [z_2(d + 2b_1 + 2q_1 + 2u_1 + 2z_1 + \\ + 2b_2 + 2q_2 + 2u_2 + z_2)] / [b_2(d + 2b_1 + \\ + 2q_1 + 2u_1 + 2z_1 + 2b_2 + q_2) \operatorname{ctg} \alpha'_2] \end{aligned} \quad (20)$$

та

$$\begin{aligned} \alpha_2 = \operatorname{arctg} z_2 \left\{ (d + 2b_1 + 2q_1 + 2u_1 + 2z_1 + \\ + 2b_2 + 2q_2 + 2u_2 + z_2) / [b_2(d + 2b_1 + \\ + 2q_1 + 2u_1 + 2z_1 + 2b_2 + q_2) \operatorname{ctg} \alpha'_2] \right\} \end{aligned} \quad (21)$$

На підставі аналізу залежностей кутів нахилу поверхонь тертя (17) і (21) можна стверджувати, що індекси біля змінних можуть дати узагальнений вираз для визначення α_n для n -го виступу

$$\alpha_n = \operatorname{arctg} \left(\frac{(z_n(d + 2\sum_{i=1}^n b_i + 2\sum_{i=1}^n q_i + 2\sum_{i=1}^n u_i + 2\sum_{i=1}^n z_i + Z_n))}{[q_n(d + 2\sum_{i=1}^n b_i + 2\sum_{i=1}^n q_i + 2\sum_{i=1}^n u_i + 2\sum_{i=1}^n z_i + q_n) \operatorname{ctg} \alpha'_n]} \right) \quad (22)$$

Для подальшого аналізу необхідно установити залежність між Q_1 і Q_2 зусиллями стиску пружин для першого та другого виступів (рис. 4, 5). Силовий трикутник для другого виступу (рис. 5) будуємо подібно до рис. 4. Слід наголосити на такому: якщо знайти залежність між Q_1 і Q_2 , то можна визначити також залежність між Q_n та Q_{n-1} (для n -го та $n-1$ виступів).

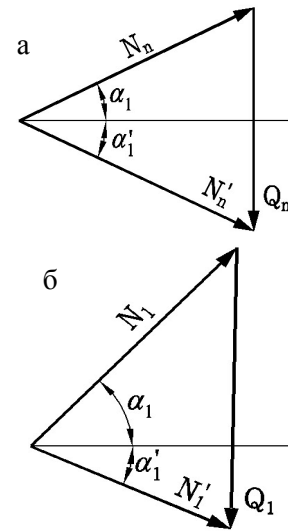


Рис. 4. Силовий трикутник для першого виступу: а – при $\alpha'_1 = \alpha_1$; б – при $\alpha'_1 \neq \alpha_1$

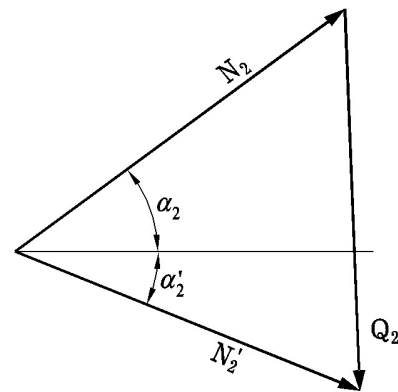


Рис. 5. Силовий трикутник для другого виступу при $\alpha'_2 \neq \alpha_2$; $\alpha'_2 < \alpha_2$

На початку із (10) обчислимо нормальні сили на поверхні тертя

$$N_1 = \pi[p] \frac{z_1}{\sin \alpha_1} \cdot (d + 2b_1 + 2q_1 + 2u_1 + z_1); \quad (23)$$

$$\begin{aligned} N'_2 = \pi[p] \frac{q_2}{\sin \alpha'_2} (d + 2b_1 + 2q_1 + \\ + 2u_1 + 2Z_1 + 2b_2 + q_2). \end{aligned} \quad (24)$$

На підставі останніх рівнянь (23) та (24) можна записати

$$[p] = \frac{N_1}{\frac{Z_1}{\sin \alpha_1} \left(\begin{matrix} d + 2b_1 + 2q_1 + \\ + 2u_1 + Z_1 \end{matrix} \right)} = \frac{N_2'}{\frac{q_2}{\sin \alpha_2'} \left(\begin{matrix} d + 2b_1 + 2q_1 + 2u_1 + \\ + 2z_1 + 2b_2 + q_2 \end{matrix} \right)}. \quad (25)$$

А за теоремою синусів (рис. 4) маємо

$$N_1 = \frac{Q_1 \cos \alpha_1}{\sin(\alpha_1 + \alpha_1')}; \quad (26)$$

$$\frac{N_2'}{\sin(90^\circ - \alpha_2)} = \frac{Q_2}{\sin(\alpha_2 + \alpha_2')}. \quad (27)$$

Із (27) маємо

$$N_2' = \frac{Q_2 \cos \alpha_2}{\sin(\alpha_2 + \alpha_2')}. \quad (28)$$

Вирази (27) та (28) підставимо в (25) і отримаємо

$$\frac{Q_2}{Q_1} = q_2(d + 2b_1 + 2q_1 + 2u_1 + 2z_1 + 2b_2 + q_2)(1 + \operatorname{tg} \alpha_2 \operatorname{ctg} \alpha_2') / [z_1(d + 2b_1 + 2q_1 + 2u_1 + z_1) \cdot (1 + \operatorname{tg} \alpha_1' \operatorname{ctg} \alpha_1)]. \quad (29)$$

$$Q = q_2(d + 2b_1 + 2q_1 + 2u_1 + 2z_1 + 2b_2 + q_2)(1 + \operatorname{tg} \alpha_2 \operatorname{ctg} \alpha_2') / [z_1(d + 2b_1 + 2q_1 + 2u_1 + z_1) \cdot (1 + \operatorname{tg} \alpha_1' \operatorname{ctg} \alpha_1)]$$

Проаналізувавши вираз (29), знайдемо залежність між Q_n та Q_{n-1}

$$\frac{Q_n}{Q_{n-1}} = \frac{q_n(d + 2\sum_{i=1}^N b_i + 2\sum_{i=1}^N q_i + 2\sum_{i=1}^N u_i + 2\sum_{i=1}^N z_i + q_n)(1 + \operatorname{tg} \alpha_n \operatorname{ctg} \alpha_n')}{Z_{n-1}(d + 2\sum_{i=1}^N b_i + 2\sum_{i=1}^N q_i + 2\sum_{i=1}^N u_i + z_{n-1})(1 + \operatorname{tg} \alpha_{n-1}' \operatorname{ctg} \alpha_{n-1})}. \quad (30)$$

Тепер розрахуємо загальну силу тертя, що виникає на фрикційних поверхнях N -го виступу. Для цього спочатку визначимо загальну силу тертя на фрикційних поверхнях першого виступу. Із (14) маємо

$$N_1' = \frac{N_2 \cos \alpha_2}{\cos \alpha_1'}. \quad (31)$$

Із урахуванням (26) рівняння (31) набуває вигляду

$$N_1' = \frac{Q_1 \cos \alpha_1}{\sin(\alpha_1 + \alpha_1')}. \quad (32)$$

Загальна сила тертя, що виникає на фрикційних поверхнях першого виступу

$$F_{\text{тр}}^I = fN_1' + fN_1 = \frac{Q_1 f \cos \alpha_1}{\sin(\alpha_1 + \alpha_1')} \left(1 + \frac{\cos \alpha_1'}{\cos \alpha_1} \right). \quad (33)$$

Загальна сила тертя, що виникає на фрикційних поверхнях n -го виступу

$$F_{\text{тр}}^n = \frac{Q_n f \cos \alpha_n}{\sin(\alpha_n + \alpha_n')} \left(1 + \frac{\cos \alpha_n'}{\cos \alpha_n} \right). \quad (34)$$

Із урахуванням геометричних параметрів фрикційних дисків, формули (33) та (34) можна записати і по-іншому, враховуючи (9) та (10)

$$F_{\text{тр}I} = \pi f [p] \frac{q_1}{\sin \alpha_1} (d + 2b_1 + q_1) + \pi f [p] \frac{z_1}{\sin \alpha_1} (d + 2b_1 + 2q_1 + 2u_1 + z_1) = \pi f [p] \left(\frac{q_1}{\sin \alpha_1} (d + 2b_1 + q_1) + \frac{z_1}{\sin \alpha_1} (d + 2b_1 + 2q_1 + 2u_1 + z_1) \right); \quad (35)$$

$$F_{\text{тр}II} = \pi f [p] \frac{q_2}{\sin \alpha_2'} (d + 2b_1 + 2q_1 + 2u_1 + 2z_1 + 2b_2 + q_2) + \pi f [p] \frac{z_2}{\sin \alpha_2} (d + 2b_1 + 2q_1 + 2u_1 + 2z_1 + 2b_2 + 2q_2 + 2u_2 + z_2) = \pi f [p] \left(\frac{q_2}{\sin \alpha_2'} (d + 2b_1 + 2q_1 + 2u_1 + 2z_1 + 2b_1 + q_2) + \frac{z_2}{\sin \alpha_2} (d + 2b_1 + 2q_1 + 2u_1 + 2z_1 + 2b_2 + 2q_2 + 2u_2 + z_2) \right); \quad (36)$$

$$F_{\text{тpн}} = \pi f [p] \frac{q_n}{\sin \alpha_n} \left(d + 2 \sum_{i=1}^N b_i + 2 \sum_{i=1}^N q_i + 2 \sum_{i=1}^N u_i + 2 \sum_{i=1}^N z_i + q_n \right) + \frac{z_n}{\sin \alpha_n} \left(d + 2 \sum_{i=1}^N b_i + 2 \sum_{i=1}^N q_i + 2 \sum_{i=1}^N u_i + 2 \sum_{i=1}^N z_i + z_n \right). \quad (37)$$

Тоді обертальний момент, що передається похилою поверхнею C_1D_1 , є очевидним із рис. 2 та 3 і запишеться у загальному вигляді так

$$T_{\text{тp}C_1D_1} = 2\pi p f \int_0^m f_2(x) \sqrt{1 + f_2'^2(x)} \left(\frac{d_3}{2} + \frac{(d_4 - d_3)}{2m} x \right) dx = \pi p f \int_0^m (K_1 x + \frac{d_3}{2}) \sqrt{1 + K_1^2} \left(\frac{d_3}{2} + \frac{(d_4 - d_3)}{2m} x \right) dx = \frac{\pi p f l_2}{6} (d_3^2 + d_3 d_4 + d_4^2), \quad (38)$$

а також подібно дістанемо

$$T_{\text{тp}A_1B_1} = \frac{\pi p f l_1}{6} (d_1^2 + d_1 d_2 + d_2^2). \quad (39)$$

Тепер обертальний момент, що передається першим виступом, мінімально віддаленим від осі муфти, визначається за формулою

$$T_{\text{тp}A_1B_1C_1D_1} = 2(T_{\text{тp}A_1B_1} + T_{\text{тp}C_1D_1}) = 2 \frac{\pi p f l_2}{6} (d_3^2 + d_3 d_4 + d_4^2) + \frac{\pi p f l_1}{3} \times (d_1^2 + d_1 d_2 + d_2^2) = \frac{\pi p f}{3} (l_2 d_3^2 + l_2 d_3 d_4 + l_2 d_4^2 + l_1 d_1^2 + l_1 d_1 d_2 + l_1 d_2^2), \quad (40)$$

а другим виступом – за формулою

$$T_{\text{тp}A_2B_2C_2D_2} = \frac{\pi p f}{3} (l_4 d_7^2 + l_4 d_7 d_8 + l_4 d_8^2 + l_3 d_5^2 + l_3 d_5 d_6 + l_3 d_6^2), \quad (41)$$

та n -м виступом

$$T_{\text{тp}A_nB_nC_nD_n} = \frac{\pi p f}{3} (l_{n-1} d_n^2 + l_{n-1} d_n d_{n+1} + l_{n-1} d_{n+1}^2 + l_n d_{n+2}^2 + l_n d_{n+2} d_{n+3} + l_n d_{n+3}^2). \quad (42)$$

Обертальний момент, що передається всією муфтою, яка складається із двох проміжних дисків з n -виступами кожний, описується так

$$T_{\text{тp}} = 2(T_{\text{тp}A_1B_1C_1D_1} + T_{\text{тp}A_2B_2C_2D_2} + \dots + T_{\text{тp}A_nB_nC_nD_n}) = \frac{\pi p f}{3} \left(\sum_{i=1}^N l_{2n-1} d_{4n-3}^2 + \sum_{i=1}^N l_{2n-1} d_{4n-3} d_{4n-2} + \sum_{i=1}^N l_{2n-1} d_{4n-2}^2 + \sum_{i=1}^N l_{2n} d_{4n-1}^2 + \sum_{i=1}^N l_{2n} d_{4n-1} d_{4n} + \sum_{i=1}^N l_{2n} d_{4n}^2 \right).$$

Пружини розраховують за зусиллям, що припадає на кожну з них. Для цього використовують запропоновані аналітичні вирази та класичну схему їх розрахунку.

Для апробації запропонованої методики розрахунків проведено кількісний аналіз дискової запобіжної фрикційної муфти із прямолінійним профілем контакту для передачі номінального моменту $T_{\text{ном}} = 140$ Н.м.; $\beta = 1,4$; діаметр вала $d = 40$ мм.

Результати кількісного аналізу та послідовність його виконання зведено до табл. 1.

Таблиця 1 Послідовність і результати кількісного аналізу

Назва параметра	Позначення параметра	Одиниця вимірювання	Результат
Максимальний обертальний момент	T_{max}	Н.м.	196
Коефіцієнт тертя	f		0,15
Допустиме питоме навантаження	$[p]$	МПа	0,3
Кут нахилу профілю першого виступу	α_1	град	12
Величини, які обрано конструктивно:	b_1	мм	8
– довжина основи впадин першого виступу (рис. 2)	q_1	мм	7

Закінчення табл. 1

Назва параметра	Позначення параметра	Одиниця вимірювання	Результат
– довжина проекції бокової фрикційної поверхні, зверненої від осі муфти першого виступу (рис. 2)	u_1	мм	4
– довжина проекції бокової фрикційної поверхні, зверненої до осі муфти першого виступу (рис. 2.2)	z_1	мм	12
Кут нахилу зовнішнього профілю першого виступу	α_1	град	27

Висновки

Теоретично доведено можливість ефективного застосування нових запобіжних фрикційних муфт підвищеної навантажувальної здатності для запобігання перевантаженням у механічних приводах різноманітних машин.

Запропоновані аналітичні вирази мають істотне значення для визначення геометричних, силових тощо параметрів розроблених фрикційних муфт із використанням клинового ефекту на поверхнях тертя.

Проведеним кількісним аналізом повністю підтверджено адекватність отриманих аналітичних виразів, які можуть бути корисними для покращення ефективності роботи різноманітних технічних засобів.

Література

1. А.с. 615293 СССР, МКИ F16D 13/64. Дисковая фрикционная муфта / С.Г. Калинин, В.А. Малащенко, П.Я. Петренко (СССР). – №2431001/25-27; заявлено 20.12.76; опубл. 15.07.78, Бюл. №26, 1978. – 3 с.
2. А.с. 653448 СССР, МКИ F16D 13/64. Дисковая фрикционная муфта/ С.Г. Калинин, В.А. Малащенко, П.Я. Петренко (СССР). - №2533334/25-27; заявлено 17.10.77; опубл. 25.03.79, Бюл. №11, 1979. – 2 с.
3. А.с. 1214952 СССР, МКИ F16D 13/64. Дисковая фрикционная муфта / С.Г. Калинин, В.А. Малащенко, П.Я.Петренко (СССР). – №3837660/25-27; заявлено 19.11.84; опубл. 28.02.86, Бюл. №8, 1986. – 2 с.
4. А.с. 1610114 СССР, МКИ F16D 13/64. Дисковая фрикционная муфта / С.Г. Калинин, В.А. Малащенко, П.Я. Петренко, П.В. Карнаух (СССР). – №4651070/31-27; заявлено 02.01.89; опубл. 30.11.90, Бюл. №44, 1990. – 3 с.
5. А.с.1693290 СССР, МКИ F16D 13/64. Дисковая фрикционная муфта / С.Г. Калинин, В.А. Малащенко, П.Я. Петренко, П.В. Карнаух (СССР). – №4667643/27; заявлено 30.01.89; опубл. 23.11.91, Бюл. №43, 1991. – 2 с.
6. А.с.1781479 СССР, МКИ F16D 13/64. Дисковая фрикционная муфта/ С.Г. Калинин, В.А. Малащенко, П.В. Карнаух (СССР). – №4949999/27; заявлено 27.06.91; опубл. 15.12.92, Бюл. №46, 1992. – 4 с.
7. Венцель С.С. Анализ навантажувальної здатності запобіжних фрикційних муфт приводів підйомно-транспортних машин/ С.С. Венцель, В.О. Малащенко, В.В. Федик // Вестник ХНАДУ: сб. науч. тр. – 2014. – Вып. 65–66. – С. 21–28.
8. Декларацийний патент на винахід UA 53242A, МПК Дискова фрикційна муфта / В.О. Малащенко, А.В. Пінчук; (Україна), заявник та патентовласник В.О. Малащенко, А.В. Пінчук. – № 2000130511/28. – Бюл. №1-2003.
9. Пат. RU 2003877 Российская Федерация, МКИ F16D 13/64. Дисковая фрикционная муфта / Калинин С.Г., Карнаух П.В., Малащенко В.А.; заявитель и патентообладатель Калинин С.Г., Карнаух П.В., Малащенко В.А. – №5019469/27; заявл. 26.12.91; опубл. 30.11.93, Бюл. №43–44. – 4 с.
10. Пат. RU 2107849, Российская Федерация, МКИ F16D 13/6. Дисковая фрикционная муфта / Карнаух П.В.; заявитель и патентообладатель Карнаух П.В. – № 93001438/28; заявл. 11.01.93; опубл. 27.03.98. – 5 с.
11. Карнаух П.В. Предохранительная дисковая фрикционная муфта/ П.В. Карнаух// Машиностроитель. – 1992. – № 6. – С. 21–22.

12. Малащенко В.А. Залишкові явища в багатодискових фрикційних муфтах під час вмикання / В.А. Малащенко, В.В. Рябов // *Машинознавство*. – 1999. – №7. – С. 51–54.
13. Нагорняк С.Г. Предохранительные механизмы металлообрабатывающего оборудования / С.Г. Нагорняк, И.В. Луцив – К.: Техника. – 1992. – 72 с.
14. Ряховский А.О. Справочник по муфтам / О.А. Ряховский, С.С. Иванов; под общ. ред. О.А. Ряховского. – Л.: Политехника, 1991. – 384 с.
15. Скойбеда А.Т. К методу расчета фрикционной предохранительной муфты повышенной точности срабатывания А.Т. Скойбеда, В.А. Николаев // *Известия АН БССР. Сер. физ.-техн.* – Минск. Рукопись деп. в ВИНТИ. – 1988. – №1547-В88. – 13 с.
16. Щеренков Г.М. Развитие конструкций одно дисковых муфт сцепления / Г.М. Щеренков, В.А. Галягин. – 1983. – М.: ЦНИИТЭИ. Электросельхозмаш. – 42 с.
17. Муфти механічні. Терміни та визначення. ДСТУ 2278-93. [Чинний від 1995-01-01]. – К. : Державний комітет стандартизації метрології та сертифікації України, 1997. – 48 с. – (Національні стандарти України).
18. Муфти запобіжні фрикційні. Параметри, конструкція і розміри: ДСТУ 3174-95. – [Чинний від 1997-01-08]. – К. : Державний комітет стандартизації метрології та сертифікації України, 1997. – 58 с. – (Національні стандарти України).

Рецензент: М.А. Подригало, професор, д.т.н., ХНАДУ.
