

УДК 621.825.54(088.8)

DOI: 10.18372/0370-2197.3(84).13848

В. О. МАЛАЩЕНКО<sup>1</sup>, Є. С. ВЕНЦЕЛЬ<sup>2</sup>, О. Я. ПАРАЦИН<sup>1</sup>, Г. О. БОЙКО<sup>3</sup><sup>1</sup>Національний університет „Львівська політехніка”, м. Львів, Україна<sup>2</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, Україна<sup>3</sup>Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, Україна

## МОЖЛИВІСТЬ ЗБІЛЬШЕННЯ СИЛИ ТЕРТЯ ФРИКЦІЙНОЇ МУФТИ

У статті розглянуто одну можливість істотного збільшення сили тертя фрикційної муфти без збільшення її габаритів, кількості та сили притискання робочих поверхонь дисків. Проведено аналітичні дослідження процесу контакту на поверхнях кільцевих виступів розробленої та запатентованої фрикційної муфти. Отримано достатньо прості вирази, що описують залежності сили тертя від основних параметрів фрикційної муфти.

**Ключові слова:** муфта, тертя, сила тертя, фрикційна муфта.

**Вступ.** Фрикційні муфти широко застосовуються в приводах різноманітних машин та механізмів. Відомо, що сили тертя цих муфт є корисними та їх збільшення дозволяє передавати більші обертальні моменти. Така проблема збільшення обертального моменту традиційно рішається за рахунок збільшення габаритів муфт, застосування накладок з збільшеним коефіцієнтом тертя чи збільшенням сили притискання тощо. Це часто приводить до зайвих витрат матеріалів, із яких виготовляються деталі муфт. Таки обставини проблеми спонукали до розроблення нових фрикційних муфт.

**Постановка завдання.** Беручи до уваги значущість питання, збільшення сили тертя у фрикційних муфтах без суттєвого збільшення їх габаритів, розроблено та запатентовано ряд нових муфт цього класу [1-6; 8-10], окремі із яких розглянуто в роботах [7; 11-13] та отримані результати порівняно з результатами [14]. На підставі цих відомих результатів названих робіт сформульовано завдання – збільшення сили тертя фрикційної муфти внаслідок зміни форм поверхонь тертя з визначенням необхідних аналітичних виразів.

Текст статті. Розглянемо розподіл навантажень у радіальному напрямку фрикційних дисків для конструкції, що наведена на рис. 1.

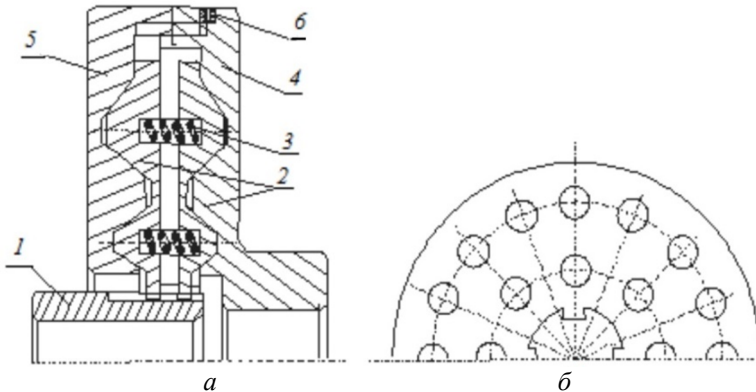


Рис. 1. Принципова конструкція фрикційної муфти: а – осовий розріз; б – вигляд на внутрішню поверхню проміжного диску

Підставою для розрахунків служить аналіз зусиль, що виникають на поверхнях дотику після затягування нарізі муфти до робочого стану. Якщо кути нахилу фрикційних поверхонь звернених до та від осі муфти, виконати однаковими, то, розглядаючи загальний випадок з  $n$ -им числом виступів (рис 2, *a*), отримуємо силовий трикутник для першого виступу, що мінімально віддалений від осі муфти (рис 2, *б*). При цьому,  $N_1' = N_1$  – сили нормального тиску на фрикційних поверхнях першого виступу,  $Q_1$  – сила пружин, що діє на перший виступ, паралельно осі муфти.

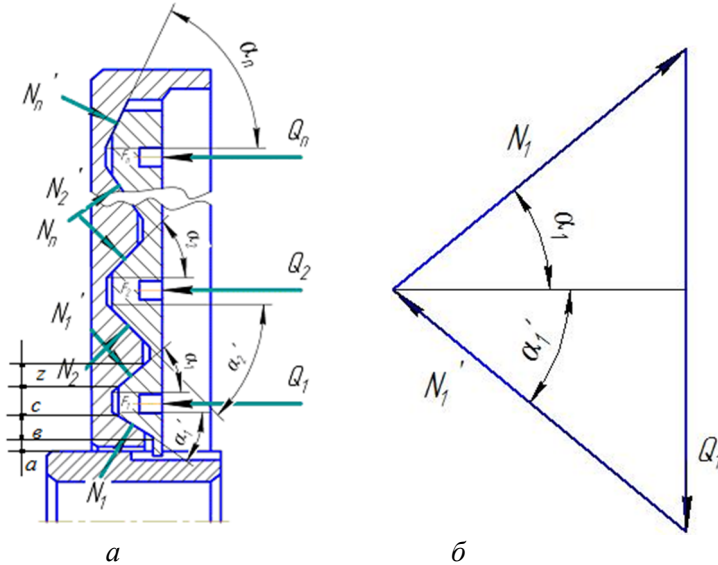


Рис. 2. Принципові розрахункові схеми: *a* – загальний випадок, частина муфти; *б* – силовий трикутник сил на першому виступі

Для рівномірного питомого навантаження фрикційних поверхонь по мірі віддалення їх від осі обертання 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, тобто вони при цьому залежать також від геометричних характеристик муфти. Для знаходження площі поверхні першого виступу розроблено розрахункову схему, що наведена на рис. 3.

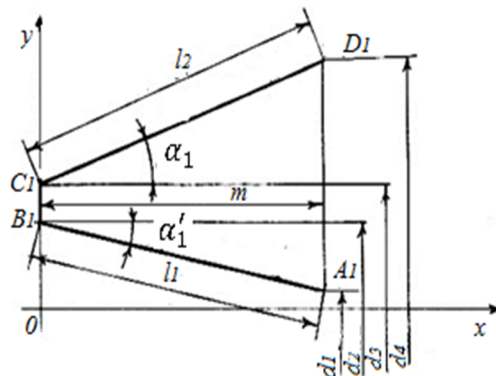


Рис. 3. Розрахункова схема для знаходження площі поверхні для першого виступу

Із рис. 3 видно, що верхня поверхня контакту цього виступу утворюється в результаті обертання лінії  $C_1D_1$  навколо осі  $OX$ , та описується виразом

$$S_1 = 2\pi \int_0^m f_2(x) \sqrt{1 + f_2'^2(x)} dx, \quad (1)$$

де  $S_1$  – площа верхньої поверхні контакту першого виступу;  $f_2(x)$  – рівняння прямої, що утворює верхню поверхню контакту;  $m$  – осьова довжина виступу.

Основна функція та її перша похідна записуються так:

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

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

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

З врахуванням (2) і (3) рівняння (1) прийме вигляд

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

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

Подібно до виразу (4) можна записати:

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

Тоді загальна площа поверхні контакту першого виступу

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

На підставі наведеного можна так записати загальну площу 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  $AB$  і  $CD$   $n$ -го виступу;  $d_{cpn1}$ ,  $d_{cpn2}$  – середні діаметри  $n$ -го виступу відповідно нижньої і верхньої частин.

Відповідно до (5), із рис.2,  $a$  для нижньої частини першого виступу очевидним є такий вираз

$$S_2 = \pi \cdot l_1 (d + 2a + \vartheta) = \pi \frac{\vartheta}{\sin \alpha_1'} (d + 2a + \vartheta). \quad (8)$$

Подібно до (8) для верхньої частини першого виступу маємо

$$S_1 = \pi \cdot l_1 (d + 2a + 2\vartheta + 2c + z) = \frac{\pi \cdot z}{\sin \alpha_1} (d + 2a + 2\vartheta + 2c + z). \quad (9)$$

Знаючи допустимий тиск на робочих поверхнях та їхні площі, можна провести завжди силовий аналіз, тобто визначити значення сил тертя на кожному виступі та установити можливості з передавання необхідного обертального моменту. На верхній частині поверхні першого виступу від дії сили  $N_1'$  у загальному вигляді маємо

$$F_{mp2} = N_1 f = \pi \cdot f [p] \frac{z_1}{\sin \alpha_1} (d + 2a + 2e + 2c + z_1). \quad (10)$$

На нижній частині поверхні першого виступу від дії сили  $N_1$  у загальному вигляді маємо

$$F_{mp1} = N_1 f = \pi \cdot f [p] \frac{e}{\sin \alpha_1} (d + 2a + e). \quad (11)$$

Для рівномірнішого спрацювання поверхонь тертя фрикційної муфти, що сприяє збільшенню її довговічності, необхідна умова рівності допустимого тиску на робочих поверхнях всіх виступів. На основі цього можна записати таку залежність

$$[p] = \frac{F_{mp1}}{\pi \cdot f \frac{e}{\sin \alpha_1} (d + 2a + e)} = \frac{F_{mp2}}{\pi \cdot f \frac{z_1}{\sin \alpha_1} (d + 2a + 2e + 2c + z_1)}. \quad (12)$$

Після спрощення (12) отримано співвідношення між силами тертя, яке є важливим для проектування нових фрикційних муфт з підвищеною довговічністю у вигляді

$$F_{mp1} = \frac{z_1}{\sin \alpha_1} (d + 2a + 2e + 2c + z_1) = F_{mp2} \frac{e}{\sin \alpha_1} (d + 2a + e). \quad (13)$$

**Висновки:** 1. Отримані аналітичні вирази (10)-(13) мають суттєве практичне значення тим, що під час проектування фрикційних муфт сприяють вибору раціональніших геометричних та силових параметрів і підвищувати їх довговічність внаслідок рівномірнішого розподілення сил тертя у робочій зоні;

2. Кількісним аналізом встановлено величини кутів нахилу робочих поверхонь виступів, так здебільшого кут  $\alpha_1'$  вигідно брати в межах  $\alpha_1' = 12^\circ \div 15^\circ$  [12];

3. Отримані результати є важливим підґрунтям для подальших досліджень відомих муфт та сприятимуть розробці нових багато конусних фрикційних пристроїв механічних приводів машин та механізмів.

### Список літератури

1. А.С.615293 СССР МКИ F16D 13/64. Дисквая фрикционная муфта/ С.Г.Калинин, В.А.Малашенко, П.Я.Петренко (СССР),-№2431001/25-27. Заявлено 20.12.76., Опубл. 15.07.78. Бюл. №26,1978.-3с.
2. А.С.653448 СССР МКИ F16D 13/64. Дисквая фрикционная муфта/ С.Г.Калинин, В.А.Малашенко, П.Я.Петренко (СССР),-№2533334/25-27. Заявлено 17.10.77., Опубл. 25.03.79. Бюл. №11,1979.-2с.
3. А.С.1214952 СССР МКИ F16D 13/64. Дисквая фрикционная муфта/ С.Г.Калинин, В.А.Малашенко, П.Я.Петренко (СССР),-№3837660/25-27. Заявлено 19.11.84., Опубл. 28.02.86. Бюл. №8,1986.-2с.
- 4.А.С. 1610114 СССР МКИ F16D 13/64. Дисквая фрикционная муфта/ С.Г.Калинин, В.А.Малашенко, П.Я.Петренко, П.В.Карнаух (СССР),-№4651070/31-27. Заявлено 02.01.89., Опубл. 30.11.90. Бюл. №44,1990.-3с.
5. А.С.1693290 СССР МКИ F16D 13/64. Дисквая фрикционная муфта/ С.Г.Калинин, В.А.Малашенко, П.Я.Петренко, П.В.Карнаух (СССР),-№4667643/27. Заявлено 30.01.89., Опубл. 23.11.91. Бюл. №43,1991.-2с.
6. А.С.1781479 СССР МКИ F16D 13/64. Дисквая фрикционная муфта/ С.Г.Калинин, В.А.Малашенко, П.В.Карнаух (СССР),-№4949999/27. Заявлено 27.06.91., Опубл. 15.12.92. Бюл. №46,1992.-4с.

7. Венцель Є.С., В.О. Малащенко, В.В Федик. Аналіз навантажувальної здатності запобіжних фікційних муфт приводів підйомно-транспортних машин. – Харків. Вестник ХНАДУ. Сборник научных трудов. Вып. 65-66, 2014. – С. 21-28.

8. Деклараційний патент на винахід UA 53242A, МПК Дискава фрикційна муфта/ В.О.Малащенко, А.В.Пінчук(Україна), Бюл №1-2003.

9. Патент на изобретение RU 2003877, МКИ F16D 13/64.Дискава фрикционная муфта./ С.Г.Калинин, П.В.Карнаух, В.А.Малащенко (Украина).-№5019469/27; Заявлено 26.12.91. Оpubл. 30.11.93-5с.

10. Патент на изобретение RU 2107849, МКИ F16D 13/64.Дискава функциональная муфта/П.В.Карнаух,(Украина).-№93001438/28 Заявлено 11.01.93. Оpubл. 27.03.98.-5с.

11. Карнаух П.В. Предохранительная дисковая фрикционная муфта// Машиностроитель.-1992. -№6.с.21 -22.

12. Малащенко В., Рябов В. Залишкові явища в багатодискових фрикційних муфтах під час вимикання, Машинознавство,№7,1999,-с.51-54.

13. Скойбеда А.Т., Николаев В.А. К методу расчета фрикционной предохранительной муфты повышенной точности срабатывания // Известия АН БССР. Сер. физ.-техн.-Минск. Рукопись деп. в ВИНТИ, I №1547-B88,1988.-13с.

14. ДСТУ 3174-95.Муфти запобіжні фрикційні. Параметри, конструкція і розміри.

Стаття надійшла до редакції 28.08.2019.

**Малащенко Володимир Олександрович** – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри ТМДМ Національного університету „Львівська політехніка”, volod.malash@gmail.com

**Венцель Євген Сергійович** – д-р техн. наук, професор. Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 7051956@bigmir.net

**Парашин Олег Ярославович** – інженер I-ої категорії кафедри ТМДМ Національного університету „Львівська політехніка”, [oleh.y.parashchyn@lpnu.ua](mailto:oleh.y.parashchyn@lpnu.ua)

**Бойко Григорій Олексійович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля.

MALASHCHENKO V. O., WENSEL E. S., PARASHCHIN O. J., BOYKO G. O.

## THE POSSIBILITY OF INCREASING THE FRICTION CLUTCH FRICTION FORCE

The article considers one possibility of a significant increase of the friction force of a friction clutch without increasing its dimensions, the number and the clamping force of the disks working surfaces. The analysis of forces developing on surfaces of friction contacts has been accomplished and a design scheme has been made up. Analytical investigations of the contact process on the surfaces of the annular projections of the developed and patented friction clutch have been carried out. The simple equations were obtained describing the dependence of the friction force on the basic parameters of the friction clutch. It was estimated that the value of angles inclination  $\alpha_1$  is required to be in the ranges of  $12...15^\circ$ . At that for equal specific loadings of friction surfaces the contact areas of friction elements are changed. The obtained results are a basis for future investigation of friction clutches in order to design the multiconical friction equipment for rational drives of mechanisms and machines. Knowing the available pressure on working surfaces and the areas the forces analysis is possible to be carried out.

**Keywords:** clutch, friction, friction force, friction clutch.

### References

1. A.S.615293 SSSR MKI F16D 13/64. Diskovaja frikcionnaja mufta/ S.G.Kalinin, V.A.Malashhenko, P.Ja.Petrenko (SSSR),-№2431001/25-27. Zajavleno 20.12.76., Opubl. 15.07.78. Bjul. №26,1978.-3s.
2. A.S.653448 SSSR MKI F16D 13/64. Diskovaja frikcionnaja mufta/ S.G.Kalinin, V.A.Malashhenko, P.Ja.Petrenko (SSSR),-№2533334/25-27. Zajavleno 17.10.77., Opubl. 25.03.79. Bjul. №11,1979.-2s.
3. A.S.1214952 SSSR MKI F16D 13/64. Diskovaja frikcionnaja mufta/ S.G.Kalinin, V.A.Malashhenko, P.Ja.Petrenko (SSSR),-№3837660/25-27. Zajavleno 19.11.84., Opubl. 28.02.86. Bjul. №8,1986.-2s.
4. A.S. 1610114 SSSR MKI F16D 13/64. Diskovaja frikcionnaja mufta/ S.G.Kalinin, V.A.Malashhenko, P.Ja.Petrenko, P.V.Karnauh (SSSR),-№4651070/31-27. Zajavleno 02.01.89., Opubl. 30.11.90. Bjul. №44,1990.-Zs.
5. A.S.1693290 SSSR MKI F16D 13/64. Diskovaja frikcionnaja mufta/ S.G.Kalinin, V.A.Malashhenko, P.Ja.Petrenko, P.V.Karnauh (SSSR),-№4667643/27. Zajavleno 30.01.89., Opubl. 23.11.91. Bjul. №43,1991.-2s.
6. A.S.1781479 SSSR MKI F16D 13/64. Diskovaja frikcionnaja mufta/ S.G.Kalinin, V.A.Malashhenko, P.V.Karnauh (SSSR),-№4949999/27. Zajavleno 27.06.91., Opubl. 15.12.92. Bjul. №46,1992.-4s.
7. Vencel' Ye.S., V.O. Malashhenko, V.V Fedy'k. Analiz navantazhival'noyi zdatnosti zapobizhny'x fikcijny'x muft pry'vodiv pidjomno-transportny'x mashy'n. – Xarkiv. Vestny'k XNADU. Sborny'k nauchny'x trudov. Выр. 65-66, 2014. – S. 21-28.
8. Deklaracijny'j patent na vy'naxid UA 53242A, MPK Dy'skova fry'kcijna mufta/ V.O.Malashhenko, A.V.Pinchuk(Ukrayina), Byul #1-2003.
9. Patent na izobretenie RU 2003877, MKI F16D 13/64.Diskovaja frikcionnaja mu-fta./ S.G.Kalinin, P.V.Karnauh, V.A.Malashhenko (Ukraina).-№5019469/27; Zajavleno 26.12.91. Opubl. 30.11.93-5s.
10. Patent na izobretenie RU 2107849, MKI F16D 13/64.Diskovaja funkcionnaja mufta/P.V.Karnauh,(Ukraina).-№93001438/28 Zajavleno 11.01.93. Opubl. 27.03.98.-5s.
11. Karnauh P.V. Predohranitel'naja diskovaja frikcionnaja mufta// Mashi-nostroitel'-.1992. - №6.s.21 -22.
12. Malashhenko V., Ryabov V. Zaly'shkovy yavy'shha v bagatody'skovy'x fry'kcijny'x muftax pid chas vy'my'kannya, Mashy'noznavstvo,#7,1999,-s.51-54.
13. Skojbeda A.T., Nikolaev V.A. K metodu rascheta frikcionnoj predohranitel'noj mufti povyshennoj tochnosti srabatyvanija // Izvestija AN BSSR. Ser.fiz.-tehn.- Minsk. Rukopis' dep. v VINITI, I №1547-V88,1988.-13s.
14. DSTU 3174-95.Mufty' zapobizhni fry'kcijni. Parametry', konstrukciya i rozmiry'.