

УДК 621.825.54(088.8)

**В.О. МАЛАЩЕНКО**, докт. техн. наук, НУ "Львівська політехніка",  
**П.В. КАРНАУХ**, НУ водного господарства та природокористування

### **ПІДВИЩЕННЯ НАВАНТАЖУВАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ ПРИВОДІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ІЗ ЗАПОБІЖНИМИ ФРИКЦІЙНИМИ МУФТАМИ**

В работе представлена классификация предохранительных фрикционных муфт с криволинейными поверхностями контакта фрикционных элементов. Установлена причинно-следственная связь между переменным коэффициентом трения по криволинейным поверхностям муфты и уравнением линий контакта фрикционных элементов.

In diesem Werk ist die Klassifizierung der Sicherheitsfriktionskupplungsmuff mit krummlinigen Oberflächen des Kontakts der Friktionselemente dargestellt. Der ursächlich-resultative Verbindung mit dem Wechselkoeffizient der Reilung auf den krummlinsgen Muffoberflächen und die Gleichung der Kontaktlinien der Friktionselement sind bewiesen.

Механічні приводи здебільшого мають різноманітні муфти, які суттєво впливають на довговічність передач, що входять у кінематичні ланцюги приводних систем.

Відомі конструкції запобіжних фрикційних муфт, що здатні передавати підвищений обертальний момент [1, 3, 5-7].

Аналіз літературних джерел та патентної інформації показує, що класифікація запобіжних фрикційних муфт носить розрізнений характер та в основному розроблена для випадків, коли лінія контакту фрикційних елементів виконана у вигляді прямої. Навантажувальна здатність таких муфт є обмеженою та визначена для плоских поверхонь тертя [3, 9].

Метою даної роботи є наукове узагальнення та доповнення відомої інформації на основі розробки класифікації, що включає нові конструкції запобіжних муфт з криволінійними поверхнями контакту фрикційних елементів, визначення їх навантажувальної здатності та порівняння з відомими муфтами.

В основу доповнення класифікації (рис. 1) покладені нові конструкції запобіжних фрикційних муфт, що захищені відповідними авторськими свідоцтвами СРСР та патентами Російської Федерації і мають такі загальні конструктивні та експлуатаційні ознаки: форму контактуючої поверхні, число поверхонь тертя, умови експлуатації, наявність оберненого зв'язку, особливості запобіжних елементів та елементів тертя.

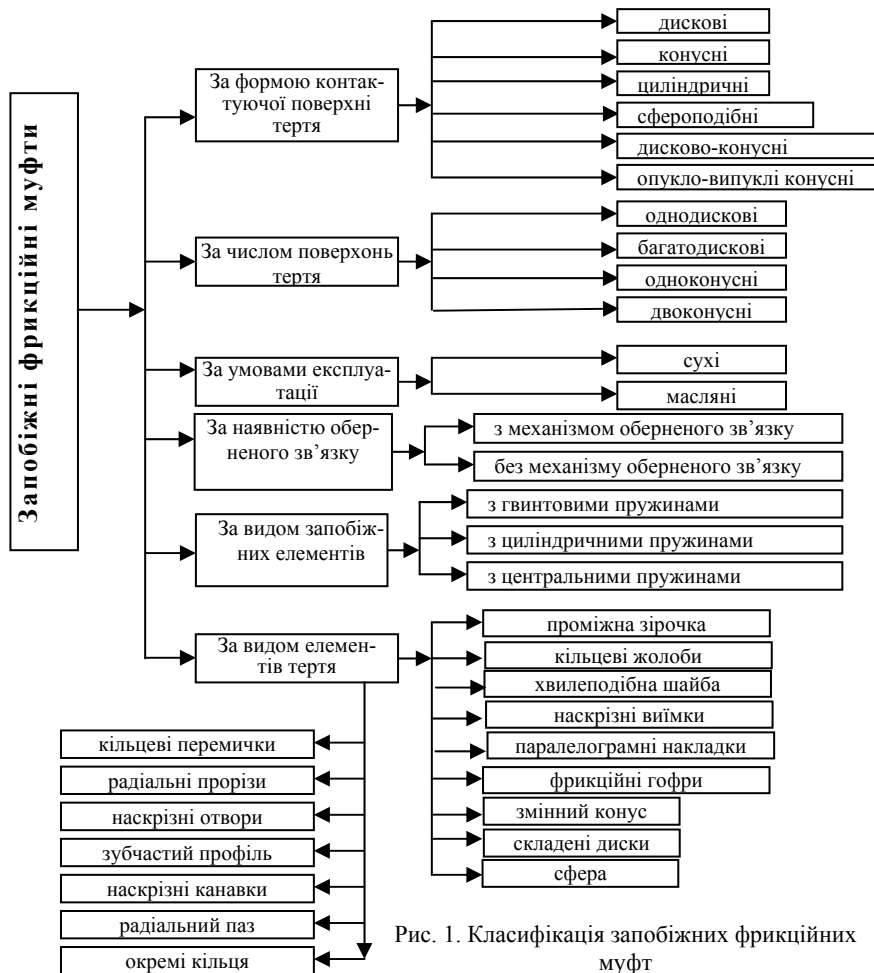


Рис. 1. Класифікація запобіжних фрикційних муфт

Запропонована класифікація вбирає доповнення конструктивними елементами, які мають ознаки світової новизни. Зокрема, за формою контактуючої поверхні введено поняття “дисково-конусні”, “опукло-випуклі конусні”, “сфероподібні”, а за видом елементів тертя – “змінний конус”, “складені диски”, “сфера”.

В роботах [2, 4, 5] частково було розкрито конструктивно-силовий взаємозв'язок нової фрикційної муфти з криволінійними поверхнями тертя згідно з [1] та висловлено гіпотезу про те, що змінний коефіцієнт тертя на криволінійних поверхнях муфти обернено пропорційний довжині дотичної до цієї поверхні, проведеної через точку контакту фрикційних елементів. Такий підхід дозволив отримати аналітичну залежність між основними габаритами муфти за умови рівності питомого навантаження на фрикційних поверхнях, проте для визначення обертального моменту муфти цього недостатньо, бо невідомо, яких значень набуває змінний коефіцієнт тертя в залежності від осьових габаритів муфти.

Для встановлення закону зміни коефіцієнта тертя та визначення навантажувальної здатності муфти розроблено розрахункову схему для лівої частини проміжного диску муфти згідно з А.С. СРСР №1610114, що показана на рис. 2. Для порівняння навантажувальної здатності муфт [1] та [2] припускалось, що вони мають однакові радіальні та осьові габарити, тобто осьова довжина виступів  $m=24\text{мм}$ ;  $\frac{d_1 - d_2}{2} = 12\text{мм}$  (рис. 2).

В декартовій системі координат в масштабі 10:1 побудовано лінію контакту верхньої частини першого виступу для випадку, коли вона описується функцією  $f(x) = e^{K_1 x}$  (рис. 3). Для визначення  $K_1=0,1$  в рівняння лінії контакту підставлялись відповідні значення функції та аргументу. Довжина дотичної між віссю  $OX$  та точкою контакту визначається, базуючись на відомій формулі [8]

$$l_{g_1} = \left| \frac{y_1}{y_1'} \sqrt{y_1'^2 + 1} \right|, \quad (1)$$

де  $l_{g_1}$  – довжина дотичної між точкою дотику та віссю  $OX$ ;  $y_1$  і  $y_1'$  – значення функції та її похідної в точках дотику відповідно  $f(x)$ .

На рис. 3 наведено графік зміни довжин дотичних в точках дотику фрикційних елементів в однаковому масштабі із лінією контакту. Встановлено причинно-наслідковий зв'язок між змінним коефіцієнтом тертя на криволінійних поверхнях муфт та рівняннях лінії контакту фрикційних елементів. Для цього відповідні ординати довжин дотичних поділено на ординати точок контакту фрикційних елементів. Отримані значення абстрактних коефіцієнтів в залежності від осьових габаритів муфти зведено в таблицю.

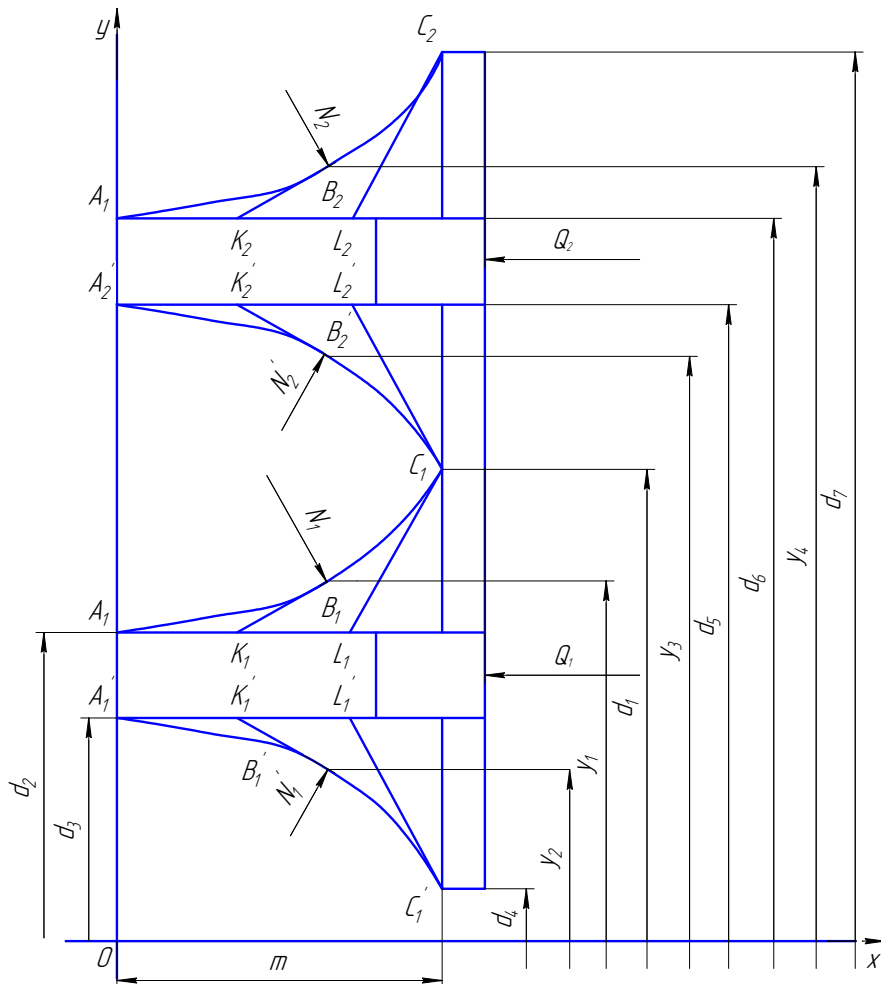


Рис. 2. Розрахункова схема лівої частини проміжного диска

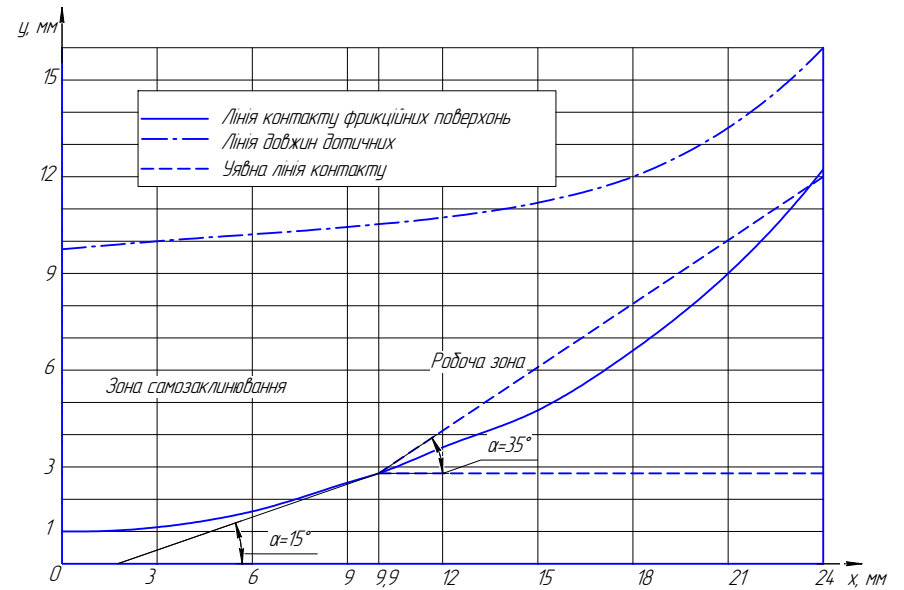


Рис. 3. Залежність зміни довжин дотичних для лінії контакту  $y=e^{0,1x}$

Таблиця.  
Значення допоміжної функції  $\Phi_1(l_g)$  для визначення  $f_{зм}$  для лінії контакту  $f(x) = e^{0,1x}$

X, мм	3	6	12	18	24
$\Phi_1(l_g)$	7,53	5,64	3,2	1,94	1,3

Змінний коефіцієнт тертя  $f_{зм}$  на криволінійній поверхні верхньої частини першого виступу тепер можна записати у вигляді:

$$f_{зм} = f_1' \cdot \Phi_1(l_g), \quad (2)$$

де  $f_1'$  – приведений коефіцієнт тертя в цапфі;  $\Phi_1(l_g)$  – допоміжна функція.

Величина  $f_1'$  застосована з огляду на те, що існує аналогія між конструкціями цапфи і муфти, а приведений коефіцієнт тертя не залежить від радіуса тертя цапфи. Після інтерполяції [8]  $\Phi_1(l_g)$  і  $f_1'$  набувають аналітичного вигляду

$$\Phi_1(l_g) = 0,01x^2 - 0,67x + 9,32; \quad (3)$$

$$f_{зм} = \frac{4}{\pi} f(0,01x^2 - 0,67x + 9,32), \quad (4)$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя ковзання матеріалу фрикційних елементів.

Проведено перевірку достовірності методу визначення змінного коефіцієнту тертя на криволінійній поверхні фрикційних елементів, у основу якої покладені такі міркування: будь-яка крива лінія є загальним випадком прямої лінії і при певних параметрах може в неї перетворюватися. Якщо запропонований метод визначення  $f_{зм}$  є вірним для криволінійної поверхні, то він є вірним і для окремих випадків, коли лінія контакту фрикційних елементів виконується у вигляді прямої. Такими окремими випадками є відомі класичні рішення в конструкціях дискових та конусних фрикційних муфт. Для зручності проведення обчислень розглянуто випадок, коли лінія контакту конусної муфти (рис. 4) нахилена до її осі під кутом  $\alpha=45^\circ$ , а загальне рівняння прямої  $y=K_2x+b$  при  $K_2=1$  і  $b=2$  набуло вигляду  $y=x+2$ . На рис. 4 побудовано графік зміни довжин дотичних в кожній точці лінії контакту. Поділивши кожну відповідну ординату лінії довжини дотичних на ординату точок контакту фрикційних елементів, встановлено, що

$$\Phi_1(l_g) = \sqrt{2} \text{ і } f_{зм} = \frac{f}{\sin \alpha}, \quad \text{при } \alpha = 45^\circ.$$

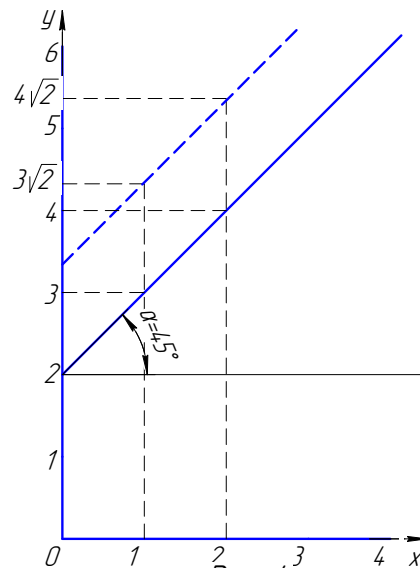


Рис. 4. Залежність зміни довжини дотичних для лінії контакту  $y=x+2$

Отже, для конусної муфти достовірність запропонованого методу визначення приведенного коефіцієнта тертя доведена. Для дискової муфти (рис. 5)

приведений коефіцієнт тертя  $f$  збігається з коефіцієнтом ковзання фрикційних матеріалів і може бути визначений як

$$f_{зм} = f\Phi(l_g) = f \frac{r_1}{r_1} = f \frac{r_2}{r_2} = f,$$

де  $r_1$  і  $r_2$  – найбільші і найменші радіуси тертя дискової муфти.

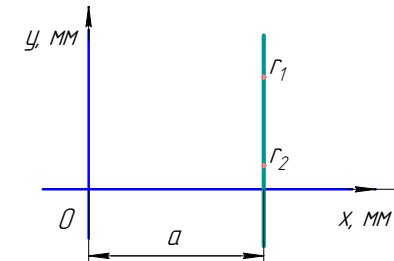


Рис. 5. Залежність зміни довжин дотичних для лінії контакту  $x=a$

Достовірність запропонованого методу визначення зведеного коефіцієнту тертя на криволінійній поверхні доведено для часткового випадку відомих дискових муфт.

Тепер розглянемо відомі конусні муфти, для яких під час роботи має місце явище самозаклинювання [3, 9]. Тому на практиці для них приймають кут конусності  $\alpha \approx 15^\circ$ . З огляду на це проведено дослідження осьових габаритів за умови відсутності самозаклинювання муфти. Мінімальний кут нахилу дотичної в точці контакту фрикційних елементів, при якому можлива робота муфти без самозаклинювання, рівний мінімальному куту конусності  $\alpha \approx 15^\circ$ . Із означення кутового коефіцієнту прямої [8] відомо, що

$$K_s = (e^{0,1x})' = 0,1e^{0,1x} = \operatorname{tg} 15^\circ = 0,27. \quad (5)$$

Із (5) не важко встановити, що  $x=9,9$  мм – це така абсциса, починаючи з якої муфта працює без самозаклинювання. Відповідно цьому осьові габарити муфти поділено на дві зони: зона самозаклинювання ( $0 < x < 9,9$ ) і робоча зона ( $9,9 < x < 24$ ) (рис. 3). За рахунок точного встановлення межі зони самозаклинювання, у якій муфта конструктивно не виконується, уможливилось суттєве зменшення осьових габаритів муфти, що відповідають робочій зоні.

#### Висновки.

1. Запропонований метод визначення зведеного коефіцієнту тертя має теоретичне та практичне значення і дає нове уявлення про закономірності процесу сухого тертя між тілами з криволінійними робочими поверхнями.

2. Перевірка його достовірності проведена для окремих традиційних випадків, коли контакт між фрикційними елементами є лінійний. Розглядалися при цьому дискові та конусні муфти, і одержані класичні аналітичні залежності визначення приведенного коефіцієнту тертя на цих поверхнях, що повністю підтверджує правильність одержаних закономірностей аналітичним шляхом.

3. Встановлена закономірність зміни зведеного коефіцієнту тертя на криволінійних поверхнях муфти значно підвищує точність визначення значень обертального моменту, що передається муфтою, покращує рівномірність питомого навантаження поверхонь тертя тощо, тому може бути застосована для проведення уточнювальних розрахунків різноманітних об'єктів машинобудування під час їх проектування та експлуатації.

**Список літератури:** 1. А.С. 1610114 СССР МКИ F16D 7/02, 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. – 3с. 2. Карнаух П.В. Статичні навантаження на фрикційних дисках муфт з криволінійними поверхнями тертя // Збірник статей за матеріалами III науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів та студентів академії 24 березня-16 квітня 1997р. – Ч.4. Механізація і автоматизація. – Рівне: Видавництво УДАВГ, 1997. – С.5–7. 3. Малащенко В.О. Муфти приводів. Конструкції та приклади розрахунків. – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2006. – 196с. 4. Малащенко В.О., Мартинців М.П., Карнаух П.В. Пошук раціонального співвідношення геометричних параметрів запобіжної фрикційної муфти. – Львів. Науковий вісник НЛУУ. – Вип.17.2, 2007. – С.88–92. 5. Малащенко В.О., Карнаух П.В. Визначення навантажувальної здатності запобіжної фрикційної муфти з дугоподібним профілем фрикційних елементів. – Луганськ. Вісн. СУНУ ім. В.Даля. – № 9(115), 2007. – С.109–112. 6. Малащенко В.О., Мартинців М.П., Пінчук А.В. Розподіл питомого тиску на бокових поверхнях кілець фрикційної муфти підвищеної навантажувальної здатності. Науковий вісник УДАУ. – Вип. 15.2, 2005. – С.51–56. 7. Малащенко В.О., Пінчук А.В. Дискова фрикційна муфта. Патент України № 53242А. – Бюл. №1, 2003. – 4с. 8. Пискунов Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисления для вузов. Т.1. – М.: “Наука”, 1978. – 456с. 9. Ряховский О.А., Иванов С.С. Справочник по муфтам. – Л.: Политехника, 1991. – 384с.

*Поступила в редколлегию 30.04.08*