

УДК 621.825.54(088.8)

Малащенко В.О., д.т.н., Коруняк П.С., к.т.н., Малащенко В.В.,  
к.т.н, Борис А.О., магістр

## ОПТИМІЗАЦІЯ ГАБАРИТІВ ЗАПОБІЖНИХ ФРИКЦІЙНИХ МУФТ ШЛЯХОМ УТОЧНЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ ТЕРТЯ

**Постановка проблеми.** Механічні муфти широко застосовуються у різноманітних приводах транспортних засобів та суттєво впливають на довговічність передач, валів, підшипників тощо, що входять у кінематичні ланцюги їхніх привідних систем. Особливе місце займають запобіжні фрикційні муфти, що передають енергію за рахунок тертя та мають завжди проблему стосовно збільшення величини передавального моменту. Така проблема здебільшого розв'язується шляхом збільшення радіальних габаритів або кількості фрикційних дисків, що тягне за собою збільшення осьових габаритів муфти. Тому тут поставлена задача з підвищення навантажувальної здатності запобіжних фрикційних муфт без збільшення їхніх габаритів.

**Зв'язок даної проблеми з попередніми дослідженнями.** Розв'язування поставленої задачі спирається на відомі розробки та дослідження конструкції запобіжних фрикційних муфт, що здатні передавати підвищений обертальний момент [5, 9, 11]. За аналізом літературних джерел та патентної інформації встановлено, що дослідження запобіжних фрикційних муфт носять розрізнений характер та здебільшого виконані для випадків, коли лінія контакту фрикційних елементів виконана у вигляді прямої. Навантажувальна здатність таких муфт є обмеженою та визначена для плоских поверхонь тертя. Однак, ці результати можуть бути базою для подальших досліджень запобіжних муфт з криволінійними поверхнями тертя, які розроблено на кафедрі деталей машин Львівської політехніки [1-3, 10].

**Метою даної роботи** є наукове узагальнення та доповнення існуючої інформації про запобіжні фрикційні муфти шляхом розробки класифікації, що включає нові конструкції муфт з криволінійними поверхнями контакту фрикційних елементів, встановлення закономірності зміни коефіцієнту тертя в робочій зоні, визначення дійсної навантажувальної здатності та порівняння отриманих результатів з відомими в існуючих літературних джерелах.

**Викладення основного матеріалу.** В нову класифікацію введено конструкції запобіжних фрикційних муфт, що захищені відповідними авторськими свідоцтвами СРСР та патентами Російської

Федерації і мають загальні конструктивні та експлуатаційні ознаки (рис.1). Вона вбирає доповнення конструктивними елементами, які мають ознаки світової новизни. Зокрема, за формою контактуючої поверхні введено поняття “дисково-конусні”, “опукло-угнуті конусні”, “сфероподібні”, а за видом елементів тертя – “змінний конус”, “складні диски”, “сфера”.

В роботах [6-8] частково розкрито конструктивно-силовий взаємозв’язок нової фрикційної муфти [1] та висловлено гіпотезу про те, що змінний коефіцієнт тертя на криволінійних її поверхнях обернено пропорційний довжині дотичної до цієї поверхні, що проведена через точку контакту фрикційних елементів. Такий підхід дозволив отримати аналітичну залежність між основними габаритами муфти за умови рівності питомого навантаження фрикційних поверхонь, проте для визначення обертального моменту необхідно знати, яких значень набуває змінний коефіцієнт тертя в залежності від осьових габаритів муфти.

Задача з визначення закономірності зміни коефіцієнта тертя та навантажувальної здатності муфти розв’язується за розрахунковою схемою (рис.2) для муфти згідно з [1]. Для порівняння навантажувальної здатності муфт [1] та [11] припускалось, що вони мають однакові радіальні та осьові габарити ( $m=24\text{мм}$ ;  $0,5(d_1 - d_2) = 12\text{мм}$ ). 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 до кривої між віссю  $OX$  та точкою контакту записується у вигляді [4]

$$l_{g_1} = \left| \frac{y_1}{y'_1} \sqrt{y_1'^2 + 1} \right|, \quad (1)$$

де  $l_{g_1}$  - довжина дотичної між точкою дотику та віссю  $OX$ ;  $y_1$  і  $y'_1$  - значення функції  $f(x)$  та її похідної у відповідних точках дотику.

На рис. 3 наведено графіки зміни довжин дотичних в точках дотику фрикційних елементів в однаковому масштабі із лінією контакту, що полегшує встановлення причинно-наслідкового зв’язку 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. Для конкретної лінії контакту  $f(x) = e^{0,1x}$

отримані відповідні значення абстрактних коефіцієнтів в залежності від осьових габаритів муфти та записано змінний коефіцієнт тертя  $f_{zm}$  на криволінійній поверхні верхньої частини першого виступу у вигляді

$$f_{zm} = f_1 \Phi(l_g), \quad (2)$$

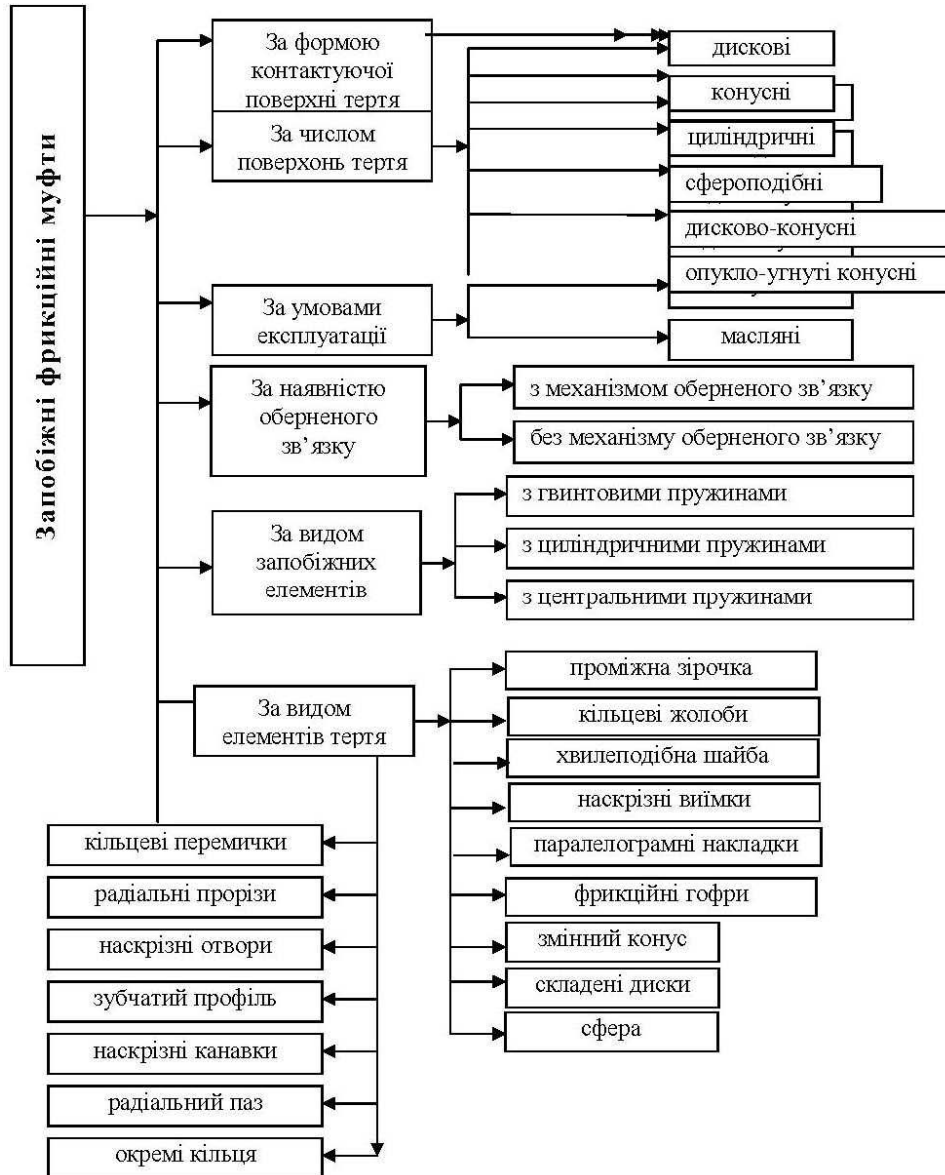


Рисунок 1- Уточнена класифікація запобіжних фрикційних муфт з урахуванням запатентованих у різний час муфт цього класу.

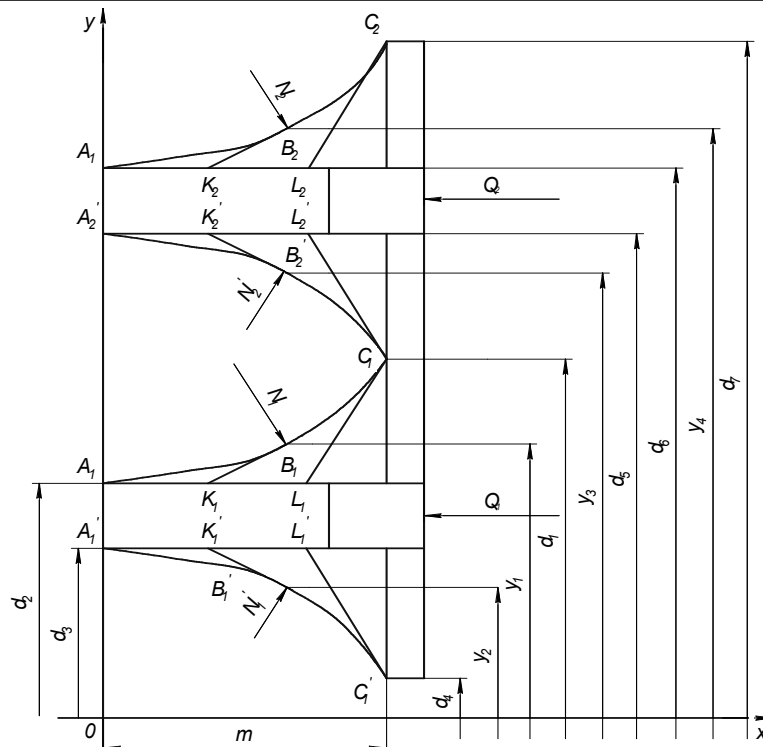


Рисунок 2 - Розрахункова схема лівої частини проміжного диска

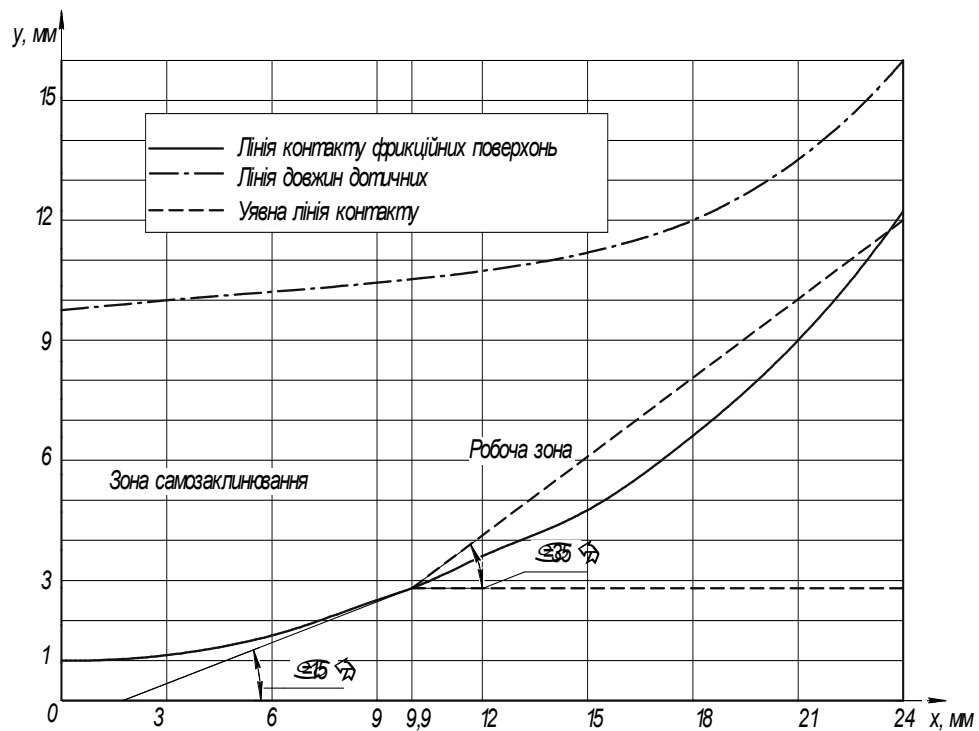


Рисунок 3 - Характер зміни довжин дотичних до лінії контакту для функції  $y = e^{0,1x}$

де  $f^1$  - приведений коефіцієнт тертя на циліндричній поверхні;  
 $\Phi(l_g)$  – 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 радіусу тертя цапфи. Після інтерполяції [4],  $\Phi(l_g)$  і  $f_{3M}$  набувають вигляду:

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

$$f_{3M} = \frac{4}{\pi} f \Phi(l_g), \quad (4)$$

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

Характер зміни параметрів згідно рівнянь (3) і (4) наведено на рис. 4.

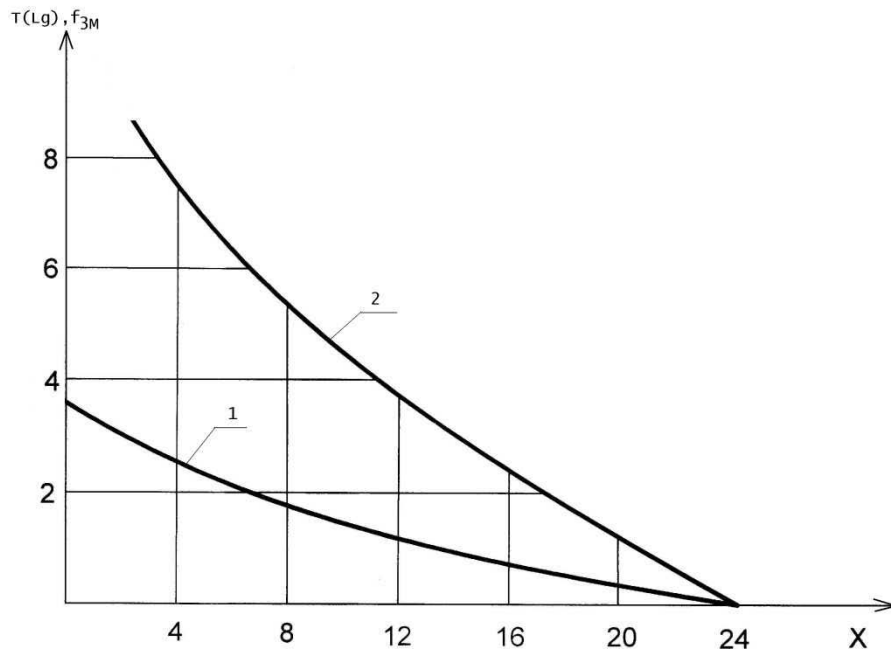


Рисунок 4 - Залежності допоміжної функції (крива 2) коефіцієнту тертя (крива 1) від висоти виступів фрикційних дисків.

Достовірність методу визначення змінного коефіцієнту тертя на криволінійній поверхні фрикційних елементів доведено за класичними міркуваннями, що будь-яка крива лінія є загальним випадком прямої і для певних параметрів може в неї перетворюватися. Тому розглянуто окремі випадки, коли лінія контакту фрикційних елементів

виконується у вигляді прямої. Це має місце у дискових та конусних фрикційних муфтах. Проведено обчислення для лінії контакту конусної муфти (рис.5) з нахилом до осі під кутом  $\alpha=45^\circ$  та з загальним рівняння прямої  $y=K_2x+b$ , яке при  $K_2=1$  і  $b=2$  набуває простого вигляду  $y=x+2$ . На рис.5 наведено графік зміни довжин дотичних в кожній точці лінії контакту. Поділивши кожну відповідну ординату лінії довжини дотичних на ординату точок контакту фрикційних елементів, отримаємо:

$$\Phi(l_g) = \sqrt{2} \quad ; \quad f_{зм} = \frac{f}{\sin \alpha} . \quad (5)$$

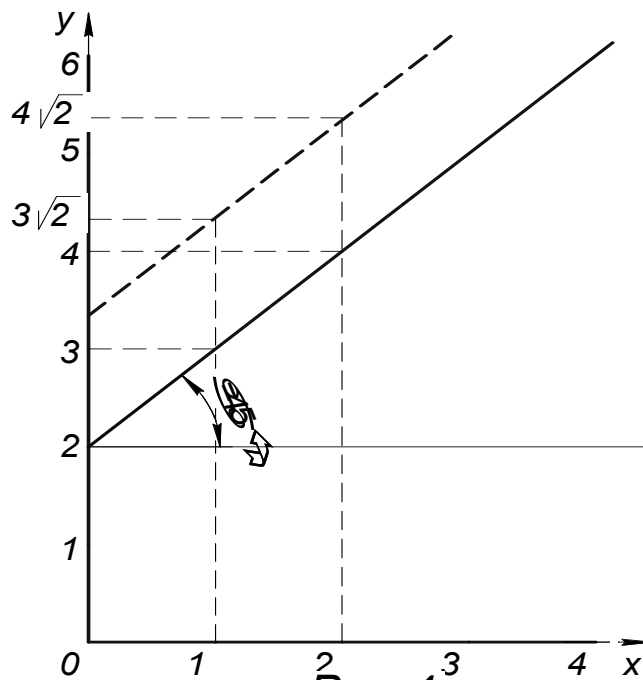


Рисунок 5 - Залежність зміни довжини дотичних ліній для контакту  $y=x+2$ .

Рівняння (5) підтверджує достовірність запропонованого методу визначення приведенного коефіцієнта тертя.

Подібним чином можна отримати підтвердження розробленого методу на прикладі дискової муфти, для якої легко отримати такий вираз

$$f_{зм} = f\Phi(l_g) = f \frac{r_1}{r_1} = f \frac{r_2}{r_2} = f, \quad (6)$$

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

Отже, достовірність цього методу визначення змінного коефіцієнту тертя на криволінійній поверхні доведено для двох часткових випадків.

Розглядались також конусні муфти з кутом конуса  $-15^\circ$ , для яких проведено дослідження осьових габаритів за умови відсутності самозаклинювання. Для такого випадку мінімальний кут нахилу дотичної в точці контакту фрикційних елементів, при якому можлива робота муфти без самозаклинювання, рівний  $15^\circ$ , а кутовий коефіцієнт прямої (дотичної) [4] дорівнює

$$K_s = (e^{0,1x})' = 0,1e^{0,1x} = \operatorname{tg} 15^\circ = 0,27. \quad (7)$$

Тоді із (7) маємо  $x=9,9\text{ мм}$  – це абсциса, з якої муфта починає функціонувати без самозаклинювання. Відтак, тут як і у попередніх дослідженнях осьові габарити муфти поділено на дві зони:  $(0 < x < 9,9)$  – самозаклинювання і  $(9,9 < x < 24)$  – робоча зона (рис. 3). Це уможливило точніше вибирати висоту виступів дисків, що сприяє суттєвому зменшенню осьові габарити муфти та її металоємкості.

### Висновки

1. Виявлена закономірність змінного коефіцієнту тертя на криволінійній поверхні контакту фрикційних елементів має теоретичне та практичне значення і дає змогу

уточнювати дійсний передавальний момент і зменшити осьові габарити та металоємкість запобіжних фрикційних муфт.

2. Отримані результати перевірено на відомих класичних прикладах, що підтверджує їхню достовірність. Тому вони можуть застосовуватися для проведення уточнювальних розрахунків різноманітних об'єктів машинобудування, які включають запобіжні фрикційні муфти, під час їх проектування та експлуатації.

### ЛІТЕРАТУРА

1. А.С. 1610114. МКИ F16D 7/02, 13/64. Дисковая фрикционная муфта /С.Г.Калинин, В.А.Малашенко, П.В.Карнаух. Бюл. № 42, 1990.-3с.
2. А.С. 1693290. МКИ F16D 7/02, 13/64. Дисковая фрикционная муфта /С.Г.Калинин, В.А.Малашенко, П.Я. Петренко, П.В.Карнаух. Бюл. № 43, 1991.-1с.
3. А.С. 1781479. МКИ F16D 7/02, 13/64. Дисковая фрикционная муфта /С.Г.Калинин, В.А.Малашенко, П.Я. Петренко, П.В.Карнаух. Бюл. № 44, 1992.-3с.
4. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. М.: "Наука", 1970. -720с.

5. Малащенко В.О. Муфти приводів. Конструкції та приклади розрахунків. -Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка". 2009.-216 с.

6. Малащенко В.О., Мартинців М.П., Карнаух П.В. Пошук раціонального співвідношення геометричних параметрів запобіжної фрикційної муфти. - Львів. Науковий вісник НЛТУУ. Вип.17.2, 2007.- С.88-92.

7. 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.

8. 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.

9. Малащенко В.О., Пінчук А.В. Дискова фрикційна муфта. Патент України № 53242А. Бюл.№ 1, 2003. -4с.

10. Патент России № 2003877 С1. Дисковая фрикционная муфта /С.Г.Калинин, В.А.Малащенко, П.В.Карнаух. Бюл. № 43-44, 1993.-5с

11. Ряховский О.А., Иванов С.С. Справочник по муфтам. -Л.: Политехника,1991.-384с.