УДК 621.825.54(088.8)

АНАЛІЗ НАВАНТАЖУВАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ ЗАПОБІЖНИХ ФРИКЦІЙНИХ МУФТ ПРИВОДІВ ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНИХ МАШИН

Є.С. Венцель, проф., д.т.н., Харківський національний автомобільно-дорожній університет, В.О. Малащенко, проф., д.т.н., В.В. Федик, асп., Національний університет «Львівська політехніка»

Анотація. *Досліджено закономірності тертя у зоні доторкання двох криволінійних поверхонь, що передають обертальний момент двигуна до робочого органу різноманітних машин. Запропоновано класифікацію та аналітичні залежності коефіцієнта тертя для нових запобіжних муфт.*

Ключові слова: *муфти, запобіжні муфти, коефіцієнт тертя.*

АНАЛИЗ НАГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ ФРИКЦИОННЫХ МУФТ ПРИВОДОВ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

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

Аннотация. *Исследованы закономерности трения в зоне контакта двух криволинейных поверхностей, которые передают вращающий момент двигателя к рабочему органу транспортных машин. Предложены классификация и аналитические зависимости коэффициента трения для новых предохранительных муфт.*

Ключевые слова: *муфты, предохранительные муфты, коэффициент трения.*

ANALYZING THE LOADING CAPACITY OF PROTECTIVE FRICTION CLUTCHES OF DRIVES FOR MATERIALS HANDLING, ELEVATING AND HAULING MACHINES

Ye.Ventsel, Prof., Dr., Eng. Sc., Kharkiv National Automobile and Highway University, V. Malaschenko, Prof., Dr., Eng. Sc., V. Fedik, postgraduate, National University «Lviv Polytechnika»

Abstract. *Friction tendencies in the contact area of two curved surfaces transmitting the engine torque to working tools of transport machines have been studied. A classification and analytical dependencies of the friction coefficient for new protective clutches have been proposed.*

Key words*: clutches, protective clutches, friction coefficient.*

Вступ

Відомо, що будь-яка фрикційна муфта, зокрема самокерована, може бути запобіжною. Вона відрізняється від керованої тільки відсутністю механізму керування. У самокерованій фрикційній муфті під час виконання нею функції запобігання перевантаженням у кінематичному ланцюгу приводу машин відбувається пробуксовування ведучої її частини по відношення до ведених. Це відбувається тоді, коли обертальний момент, що

передається муфтою, досягає небажаної величини. У цьому разі й відбувається взаємне проковзування у фрикційній парі кінематичного ланцюга. Максимальний обертальний момент задають притисканням ведених частин муфти до її ведучих. Силу притискання фрикційних дисків створюють пружини, затягування яких регулюється за допомогою гайок, що фіксуються контргайками. Такі муфти є об'єктом досліджень у даній роботі.

Аналіз публікацій

Аналіз літературних джерел та патентної інформації показує, що навіть у питанні класифікації запобіжних фрикційних муфт немає одностайної думки [8]. В основу її розробки покладено випадки, коли профіль поверхні контакту фрикційних елементів виконано у вигляді прямої [2, 4]. Відомі запобіжні фрикційні муфти підвищеної навантажувальної здатності (рис. 1). Розроблено та запатентовано нові конструкції запобіжних фрикційних муфт із криволінійним профілем поверхонь фрикційних елементів, що здатні передавати підвищений обертальний момент [5]. Попередній аналіз їх функціонування та силових співвідношень у робочій зоні розглянуто в наукових статтях [6, 7].

Мета і постановка задачі

Метою даної роботи є узагальнення та доповнення відомої інформації на основі розробки уточненої класифікації, що включає нові конструкції запобіжних муфт із криволінійними поверхнями контакту фрикційних елементів, визначення навантажувальної здатності з уточненням фактичного коефіцієнта тертя в зоні контакту та порівняння з відомими муфтами.

Навантажування запобіжних фрикційних муфт ПТМ

В основу доповнення класифікації (рис. 3) покладено нові конструкції запобіжних фрикційних муфт, що захищені відповідними авторськими свідоцтвами СРСР та патентами Російської Федерації і мають такі загальні конструктивні та експлуатаційні ознаки: форму контактної поверхні; число поверхонь тертя; умови експлуатації; наявність оберненого зв'язку; особливості запобіжних елементів та форми елементів тертя. Базовими обрано запатентовані муфти, наведені на рис. 1. Причому на рис. 1, а наведено муфту із суцільним проміжним диском, де: 1 – внутрішня напівмуфта; 2 – зовнішня напівмуфта; 3 – суцільний проміжний диск; 4 – натискний диск; 5 – пружина; 6 – кожух.

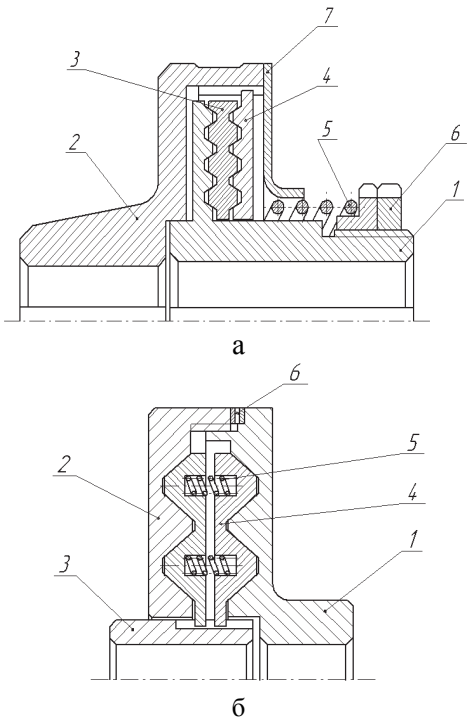


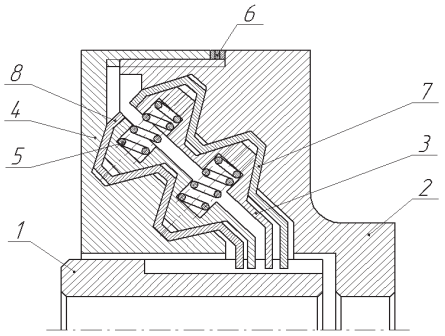
Рис. 1. Конструкції фрикційних муфт: а – із суцільним проміжним диском; б – із розрізним проміжним диском

А на рис. 1, б наведено: 1 – ведуча напівмуфта; 2 – притискний диск; 3 – ведена напівмуфта; 4 – розрізний проміжний диск; 5 – пружини; 6 – регулювальні прокладки.

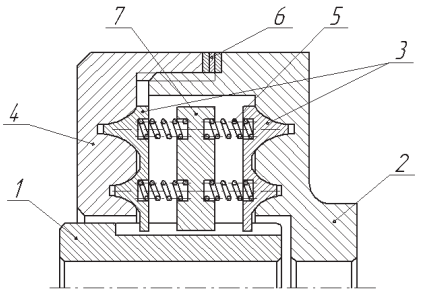
З метою покращення навантажувальної здатності муфт (рис. 1) розроблено конструкції з криволінійними профілями фрикційних поверхонь.

Окремі з них наведені на рис. 2, де 1 – ведучі напівмуфти; 2 – ведені напівмуфти; 3 – елементи тертя; 4 – корпуси (рис. 2, а і б); 4 – елемент тертя (рис. 2, в); 5 – пружні елементи; 6 – регулювальні прокладки; 7 – проміжні елементи; 8 – прокладка корпуса. Окрім того, на рис. 2, а наведена муфта з підвищеною довговічністю бокових поверхонь напівмуфт за рахунок застосування прокладок спеціального профілю, які вкладаються в кільцеві западини, виготовлені на поверхнях корпуса та ведучої напівмуфти. Зрозуміло, що такі накладки виготовляються із якіснішого матеріалу, ніж корпус та ведуча напівмуфта. Будо-

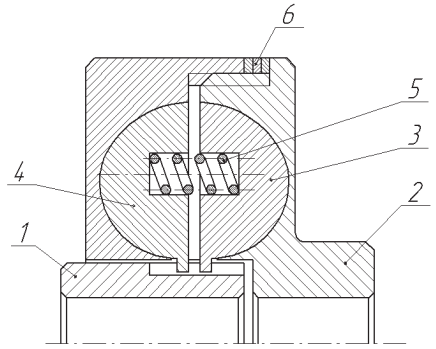
ва та принцип роботи цих муфт є очевидними (рис. 1 і 2). Більше того, ці питання детальніше висвітлені в роботах [5], тому за потреби читач завжди може з ними ознайомитися.



а



б



в

Рис. 2. Фрикційні муфти підвищеної навантажувальної здатності: а – проміжний елемент має додаткові фрикційні частини; б – проміжний елемент із центрувальним кільцем; в – дугоподібний профіль проміжного елемента

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

У роботах [6, 7] 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 є обернено пропорційним 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 не відомо, яких значень набуває змінний коефіцієнт тертя залежно від осьових габаритів муфти.

Для встановлення закону зміни коефіцієнта тертя та визначення навантажувальної здатності муфти розроблено розрахункову схему для лівої частини проміжного диска муфти згідно з А.С. СРСР № 1610114, що показана на рис. 4. Для порівняння навантажувальної здатності муфт [1] та [5] припускалось, що вони мають однакові радіальні та осьові габарити, тобто осьова довжина виступів m=24 мм; $\frac{d_1 - d_2}{2} = 12$ мм (рис. 4). В декартовій системі координат у масштабі 10:1 побудовано лінію контакту верхньої частини першого виступу для випадку, коли вона описується функцією $f(x) = e^{K_1 x}$ (рис. 5). 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

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

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. 5 наведено графік зміни довжин дотичних у 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. Визначено значення абстрактних коефіцієнтів для лінії контакту $f(x) = e^{0,1x}$

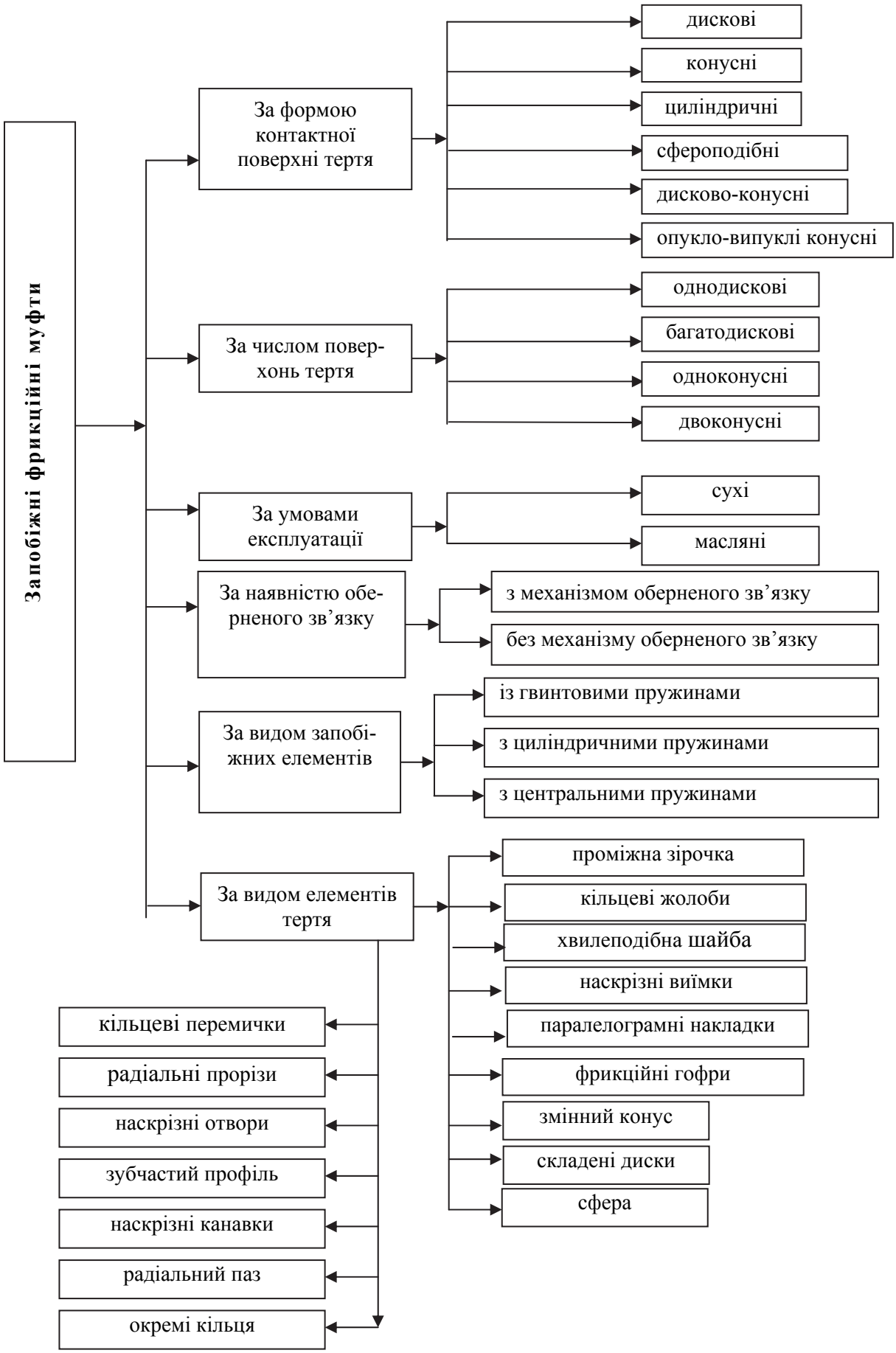


Рис. 3. Класифікація запобіжних фрикційних муфт із запропонованими новими муфтами

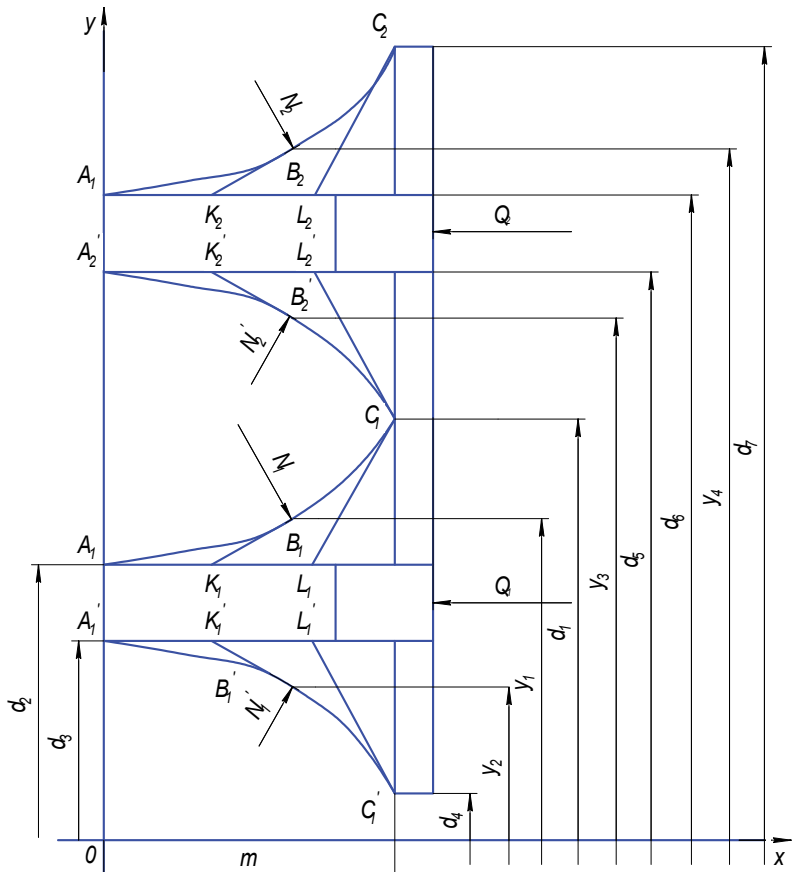


Рис. 4. Розрахункова схема лівої частини проміжного диска

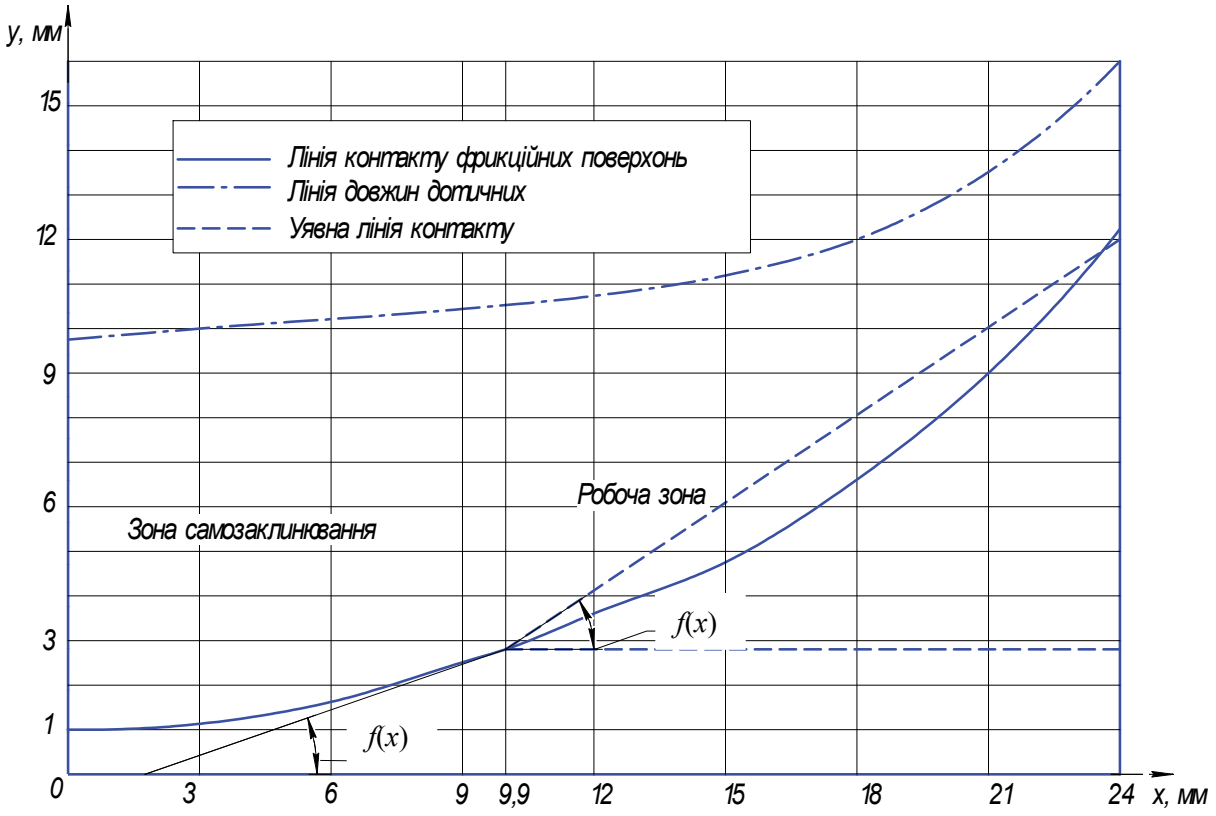


Рис. 5. Залежність зміни довжин дотичних для лінії контакту $y = e^{0,1x}$

залежно від осьових габаритів муфти через величини допоміжної функції $\Phi_1(l_g)$, тобто якщо x дорівнює: 3, 6, 12, 18 і 24, то $\Phi_1(l_g)$ відповідно набуває значень 7,53; 5,64; 3,20; 1,94 і 1,30.

Тепер можна записати змінний коефіцієнт тертя $f_{зм}$ на криволінійній поверхні верхньої частини першого виступу напівмуфти у такому вигляді

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

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 [6] $\Phi_1(l_g)$ *і* f_1' набувають аналітичного вигляду

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

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

де f – коефіцієнт тертя ковзання матеріалу фрикційних елементів.

Проведено перевірку достовірності методу визначення змінного коефіцієнта тертя на криволінійній поверхні фрикційних елементів, в основу якої покладені такі міркування: будь-яка крива лінія є загальним випадком прямої лінії і за певних параметрів 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. 6) нахилена до її осі під кутом α=45°, 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 у кожній точці лінії контакту. Поділивши кожну відповідну ординату лінії довжини дотичних на ординату точок контакту фрикційних елементів, встановлено, що

$$\Phi_1\left(l_g\right) = \sqrt{2} \text{ і } f_{зм} = \frac{f}{\sin\alpha}, \text{ при } \alpha = 45°.$$

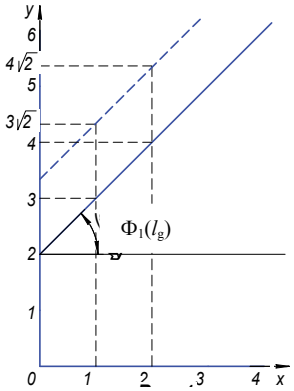


Рис. 6. Залежність зміни довжини дотичних для лінії контакту $y = x+2$

Отже, для конусної муфти достовірність запропонованого методу визначення приведеного коефіцієнта тертя доведено. Для дискової муфти (рис. 7) 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 – найбільший і найменший радіуси тертя дискової муфти.

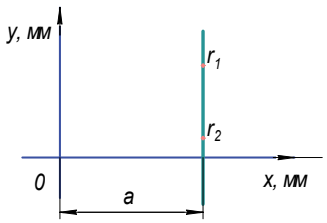


Рис. 7. Залежність зміни довжин дотичних для лінії контакту $x = a$

Достовірність запропонованого методу визначення зведеного коефіцієнта 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, 6]. Тому на практиці для них беруть кут конусності α ≈ 15°. 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, є рівним мінімальному куту конусності $\alpha \approx 15°$. Із означення кутового коефіцієнта прямої [8] відомо, що

$$K_з = (e^{0,1x})' = 0,1e^{0,1x} = \text{tg}15° = 0,27. \quad (5)$$

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

Висновки

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

Встановлена закономірність зміни зведеного коефіцієнта 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.

Перевірка його достовірності проведена для окремих традиційних випадків, коли контакт між фрикційними елементами є лінійним. Розглядались при цьому дискові та конусні муфти та одержані класичні аналітичні залежності визначення приведеного коефіцієнта тертя на цих поверхнях, що повністю підтверджує правильність одержаних закономірностей аналітичним шляхом.

Література

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; Заявл. 02.01.89; Опубл. 30.11.90. Бюл. № 44, 1990. – 3 с.
2. Муфти механічні. Терміни та визначення: ДСТУ 2278-93. – Чинний від 01.01.1995. – К.: Держ. комітет стандартизац. метролог. та сертифікац. України, 1995. – 48 с.
3. Муфти запобіжні фрикційні. Параметри, конструкція і розміри: ДСТУ 3174-95. – Чинний від 01.81.1997. – К.: Держ. комітет стандартизац. метролог. та сертифікац. України, 1997. – 58 с.
4. А.с. 615293, БІ №26, 1978; № 653448, БІ №11, 1979; №1214952, БІ №8, 1985 Дискова фрикційна муфта./ С.Г. Калінін, В.О. Малащенко, П.Я. Петренко. - №7536110/11-24.
5. Дискова фрикційна муфта. А.С. № 1610114, БІ №30, 1990; № 1693290, БІ №43, 1991; №1781479, БІ №46, 1992 / С.Г. Калінін, В.О. Малащенко, П.Я. Петренко, П.В. Карнаух.
6. Малащенко В.О. Пошук раціонального співвідношення геометричних параметрів запобіжної фрикційної муфти / В.О. Малащенко, М.П. Мартинців, П.В. Карнаух // Науковий вісник НЛУУ: зб. наук. пр. – 2007. – Вип. 17.2. – С. 88–92.
7. Малащенко В.О. Визначення навантажувальної здатності запобіжної фрикційної муфти з дугоподібним профілем фрикційних елементів / В.О. Малащенко, П.В. Карнаух // Вісник. СУНУ імені В. Даля: зб. наук. пр. – 2007. – № 9(115). – С. 109–112.
8. Пискунов Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисления для втузов / Н.С. Пискунов – Т.1. – М.: Наука, 1978. – 456 с.

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

Стаття надійшла до редакції 2 червня 2014 р.