

УДК 621.825.5/7

© В.О. Проценко, к.т.н., О.Ю. Клементьєва,  
Херсонська державна морська академія

## **ШВИДКОДІЯ ЗАПОБІЖНОЇ МУФТИ З КАНАТАМИ ХОРДАЛЬНОГО РОЗТАШУВАННЯ**

*Запропоновано конструкцію пружно-запобіжної муфти з торцевою установкою хордально розташованих канатів. Обґрунтовано параметри швидкодії роботи муфти та сформульовані умови можливості виконання муфтою запобіжних функцій.*

### **МУФТА, КАНАТ, ШВИДКОДІЯ, ЗАПОБІЖНІ ФУНКЦІЇ.**

**Постановка проблеми.** Приводи всіх машин працюють в умовах динамічних навантажень, проте деякі з них можуть сприймати ще й рідкі перевантаження в рази більші за робочі, що можуть спричинити поломку машини чи її елементів. Не виключенням є сільськогосподарські машини [1], що і визначає широке розповсюдження в їх конструкціях запобіжних муфт. У випадку рідких перевантажень приводи найчастіше обладнують запобіжними пристроями з руйнівними елементами, наприклад муфтами зі зрізним штифтом [2]. Такі муфти в одинарному виконанні фактично подібні до глухих муфт [3], а в умовах сполучення неспіввісних валів вони повинні бути складовим елементом пружно-запобіжних муфт здатних виконувати одночасно і компенсуючі функції. Такі муфти, щоправда мають складну конструкцію, а відтак і високу вартість. Тому розроблення нових конструкцій пружно-запобіжних муфт, що мають просту конструкцію та здатні працювати в умовах неспіввісності, а також обґрунтування їх параметрів становить значний резерв для удосконалення приводів машин, в тому числі сільськогосподарських.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Авторами розроблена та запатентована [4] муфта з канатними пружними елементами, що здатна реалізувати запобіжні функції. Устрій цієї муфти зрозумілий з рис. 1. Муфта складається з двох напівмуфт ведучої 1 і веденої 2, що сполучені за рахунок пружних елементів, якими є канати 3, кожен з яких закріплений одним кінцем в пальці 4 встановленому у ведучій напівмуфті 1, а іншим кінцем в пальці 5 встановленому у веденій напівмуфті 2. Пальці 4 і 5 пропущені в осьові отвори 6 втулок 7 та отвори 8 фланців ведучої і веденої напівмуфт 1 і 2 та затягнуті гайками 9, що встановлені на їх різьбові кінці 10. Канати пропущені в пази чи отвори 11 втулок 7 і пази чи отвори 12 пальців 4 і 5. Гайки пальців 4 встановлені з упором на пружини 13 через шайби

14. При збільшенні моменту опору на веденій напівмуфті 2, пальці 4 ведучої напівмуфти 1 переміщуються в напрямку до веденої напівмуфти 2, стискаючи пружини 13. При цьому канати 3 висмикуються з пазів 11 та 12 і роз'єднують напівмуфти 1 і 2, а відтак кінематичний ланцюг машини де встановлена пропонована муфта, унеможливаючи її перевантаження та поломку.

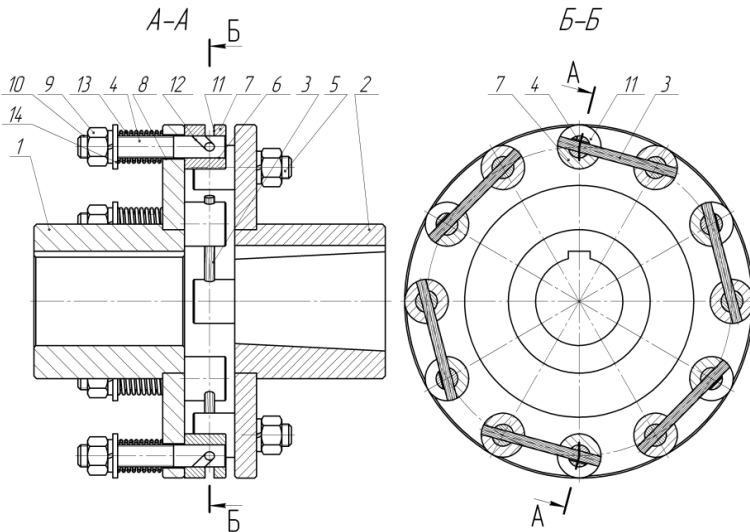


Рис. 1 – Загальний вид пружно-запобіжної муфти з торцевою установкою канатів хордального розташування

Для цієї муфти характерні основні геометричні та силові співвідношення отримані раніше для постійної муфти з хордальними канатами, але функціональне призначення та конструкція цієї муфти обумовлює деякі особливості її розрахунку, зокрема оцінки параметрів пружин які затискають канати.

**Мета дослідження** - розкриття механізму спрацьовування роботи муфти та оцінка параметрів швидкості її роботи.

**Виклад основного матеріалу.** Для розкриття механізму спрацьовування муфти розглянемо її розрахункову схему, показану на рис. 2 та рис. 3. При роботі муфти в стопорному режимі (найбільш небезпечний варіант) втулки 2, що належать веденій напівмуфті залишаються нерухомими, а втулки 1, що належать ведучій





$$t_k = \frac{d_{em} \cos \frac{\pi}{2z}}{0,5D_{36}\omega} \quad (5)$$

З (1) потрібний час екстракції пальця:

$$t_e^{nomp} \leq t_y - t_k \quad (6)$$

Вираз для наближеного обчислення кута  $\varphi_e$  отримаємо розглянувши трикутник  $OAG_2$  (рис. 2):

$$\varphi_k = 2 \arcsin \frac{d_{em}}{D_{36}} \quad (7)$$

Тоді:

$$\varphi_y = \frac{\pi}{z} - 2 \frac{\varphi_k}{2} = \frac{\pi}{z} - \varphi_k \quad (8)$$

Після підстановки виразів (8) та (7), рівняння (6) набуде вигляду (9):

$$t_e^{nomp} \leq \frac{\frac{\pi}{z} - \varphi_k}{\omega} - \frac{d_{em} \cos \frac{\pi}{2z}}{0,5D_{36}\omega} = \frac{\frac{\pi}{z} - 2 \arcsin \frac{d_{em}}{D_{36}}}{\omega} - \frac{d_{em} \cos \frac{\pi}{2z}}{0,5D_{36}\omega} \quad (9)$$

Для визначення дійсного часу екстракції пальця і сполучених з ним деталей розглянемо їх рух, використавши теорему про зміну кінетичної енергії [5]. Згідно цієї теореми зміну кінетичної енергії рухомих деталей спричиняють роботи сил стисненої пружини та сил тертя рухомих деталей, що відображає рівняння (10).

$$0,5m_{nc}V_n^2 = 0,5c(H_0 - H)^2 - gf(m_{em}l_{em} + m_{nc}\delta_{\phi l}), \quad (10)$$

де  $m_{nc}$  – маса рухомих деталей;

$V_n$  – швидкість пальця;

$c$  – швидкість пружини;

$(H_0 - H)$  – деформація пружини;

$g$  – прискорення вільного падіння;

$f$  – коефіцієнт тертя між пальцем та сполученими з ним деталями;

$m_{em}$  – маса втулки;

$l_{em}$  – довжина втулки;

$\delta_{\phi l}$  – товщина фланця.

Тоді швидкість пальця під час екстракції:

$$V_n = \sqrt{\frac{c(H_0 - H)^2 - 2gf(m_{em}l_{em} + m_{nc}\delta_{\phi l})}{m_{nc}}} \quad (11)$$

Звідки отримаємо вираз для обчислення розрахункового часу екстракції:

$$t_e^{розр} = \frac{l_{ем} + \delta_{фл}}{V_n} = \frac{l_{ем} + \delta_{фл}}{\sqrt{\frac{c(H_0 - H)^2 - 2gf(m_{ем}l_{ем} + m_{нз}\delta_{фл})}{m_{нз}}}}. \quad (12)$$

Слід відзначити, що екстракція пальця зі фланця та втулки може бути гарантовано забезпечена коли деформація пружини  $(H_0 - H)$  більше або дорівнює сумі товщин втулки та фланця  $(l_{ем} + \delta_{фл})$ , а відтак жорсткість пружин можна обчислювати за формулою  $c = F_{np} / (l_{ем} + \delta_{фл})$ .

Тоді формула (12) набуде вигляду (13):

$$t_e^{розр} = \frac{l_{ем} + \delta_{фл}}{\sqrt{\frac{c(l_{ем} + \delta_{фл})^2 - 2gf(m_{ем}l_{ем} + m_{нз}\delta_{фл})}{m_{нз}}}}. \quad (13)$$

Чисельний розрахунок для натурного зразка муфти у якій  $z=4$ ,  $m_{ем} = 0,043$  кг,  $m_{нз} = 0,112$  кг,  $l_{ем} = 0,016$  м,  $\delta_{фл} = 0,008$  м,  $d_{ем} = 0,024$  м,  $D_{зв} = 0,145$  м,  $c = 31250$  Н/м,  $f = 0,15$ , показав, що у формулі (13) складова пов'язана з роботою сили тертя складає лише 0,03% від складової енергії стисненої пружини, тому якщо знехтувати тертям, то формулу (13) можна перетворити до компактного вигляду (14).

$$t_e^{розр} = \frac{l_{ем} + \delta_{фл}}{\sqrt{\frac{c(l_{ем} + \delta_{фл})^2}{m_{нз}}}} = \sqrt{\frac{m_{нз}}{c}}. \quad (14)$$

З виразу (9) можна отримати формулу для розрахунку граничної частоти обертання при якій муфта здатна виконувати свої запобіжні функції при відомих її розмірах:

$$\omega \leq \frac{\frac{\pi}{z} - 2 \arcsin \frac{d_{ем}}{D_{зв}}}{t_e} - \frac{d_{ем} \cos \frac{\pi}{2z}}{0,5D_{зв}t_e}. \quad (15)$$

Підставляючи вираз (14) у (15) запишемо:

$$\omega \leq \sqrt{\frac{c}{m_{нз}}} \left( \frac{\pi}{z} - 2 \arcsin \frac{d_{ем}}{D_{зв}} - \frac{d_{ем} \cos \frac{\pi}{2z}}{0,5D_{зв}} \right). \quad (16)$$

Можна отримати і дещо простіше рішення, якщо вважати наближено:

$$t_k = \frac{\varphi_k}{\omega}. \quad (17)$$

Тоді

$$t_y \geq t_k + t_e, \quad (18)$$

$$t_e^{nomp} \leq t_y - t_k = \frac{\varphi_y - \varphi_k}{\omega}. \quad (19)$$

Після підстановки (7) та (8) у (19), отримаємо вираз (20):

$$t_e^{nomp} \leq \frac{\frac{\pi}{z} - 2\varphi_k}{\omega} = \frac{\frac{\pi}{z} - 4 \arcsin \frac{d_{gm}}{D_{36}}}{\omega}. \quad (20)$$

Підставляючи вираз (14) у (20) можна отримати формулу для наближеного розрахунку граничної частоти обертання:

$$\omega_{набл} \leq \sqrt{\frac{c}{m_{nz}}} \left( \frac{\pi}{z} - 4 \arcsin \frac{d_{gm}}{D_{36}} \right). \quad (21)$$

Розрахунки за формулами (20) та (21) (0,012 с та 64,63 рад/с) для модельної муфти, в порівнянні з формулами (14) та (16) (0,015 с та 77,74 рад/с) дають результати відмінні приблизно на 17%. Проте для наближеної оцінки параметрів швидкодії муфти вони цілком придатні, оскільки забезпечують запас.

Отримані залежності для оцінки швидкодії муфти доцільно застосовувати після перевірки умови (22) геометричної (конструктивної) можливості роботи муфти як запобіжної.

$$\varphi_y \geq \varphi_k. \quad (22)$$

Користування отриманими виразами може виконуватись в наступним чином:

а) при відомих з виконаного розрахунку на міцність розмірах та частоті обертання муфти можна перевіряти можливість її роботи як запобіжної, обчислюючи розрахунковий час екстракції пальця за формулою (13) та порівнювати його з потрібним часом екстракції (9);

б) при тих же умовах, обчислення допустимої кутової швидкості муфти за формулою (16) чи (21) та порівняння її з проектною кутовою швидкістю також дасть можливість відповісти на запитання чи здатна муфта виконувати свої запобіжні функції.

**Висновки.** В результаті виконаних досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Отримані залежності, що дозволяють оцінити геометричні та кінематичні можливості роботи муфти з канатами хордального розташування як запобіжної. Отримані формули для

обчислення часу спрацьовування муфти та критичної частоти обертання при якій муфта здатна виконувати свої запобіжні функції.

2. Показано, що під час розрахунку часу екстракції пальця впливом тертя на швидкість та час екстракції можна знехтувати.

3. Встановлено, що деформацію пружин муфти доцільно приймати більше або рівною суми товщин втулки та фланця напівмуфти, а відтак жорсткість пружин можна обчислювати за формулою  $c = F_{np} / (l_{em} + \delta_{fl})$ .

Напрямки подальших досліджень:

1. Оцінка швидкодії запобіжної муфти з хордальними канатами при її роботі в умовах неспіввідності.

2. Експериментальне дослідження швидкодії та ефективності роботи запобіжної муфти з хордальними канатами.

3. Оцінка точності спрацьовування запобіжної муфти з хордальними канатами.

### Література

1. Войтюк Д.Г., Гаврилюк Г.Р. Сільськогосподарські машини. К.: Каравела, 2015. – 552 с.
2. Дьяченко С.К., Киркач Н.Ф. Предохранительные муфты. – К.: Гостехиздат УССР, 1962. – 122 с.
3. Малащенко В.О. Муфти приводів. Конструкції та приклади розрахунків / В.О. Малащенко. – Львів: Видавництво національного університету «Львівська політехніка», 2009. – 208 с.
4. Патент на корисну модель МПК F16D 3/00 // F16D 43/00, № 106426. Пружно-запобіжна муфта з торцевою установкою прямих канатів. Патентовласник: Херсонська державна морська академія. Авт.: Проценко В.О., Плечій І.А., заявка u201510570 від 29.10.2015, опубл. 25.04.2016, Бюл. №8.
5. Теоретична механіка : Навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Ч. 2. Динаміка / В. Векерик, М. Лисканич, П. Огородніков, О. Петрук, І. Цідило; Івано-Франк. нац. техн. ун-т нафти і газу. - Івано-Франківськ: Факел, 2002. - 342 с.

*Рецензент д.т.н. В.Ф. Дідух*