

**В.О. ПРОЦЕНКО**, к.т.н., каф. ЕСЕУ та ЗП ХДМА, Херсон;  
**А.Ф. СИМАГІН**, інженер каф. ЕСЕУ та ЗП ХДМА

## **ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ МУФТ З ТОРЦЕВОЮ УСТАНОВКОЮ ПРЯМИХ КАНАТІВ ЯК ПРИСТРОЇВ ІЗ НЕЛІНІЙНОЮ ЖОРСТКІСТЮ**

На основі аналізу сучасного стану розвитку нелінійних пружних муфт показано необхідність розробки та дослідження нових конструкцій. На прикладі натурного зразка доведено, що муфти з торцевою установкою прямих канатів мають нелінійну характеристику при їх закручуванні в напрямку стиску канатів. Запропоновано напрямки перспективних досліджень цих муфт та пружних елементів зі стиснутих канатів.

**Ключові слова:** нелінійні пружні муфти, пружні елементи зі стиснутих канатів.

**Постановка проблеми.** Одним із найбільш розповсюджених і складних завдань динаміки приводів обертового руху є віброізоляція сусідніх ділянок валопроводів від дії низькочастотних крутильних коливань з великими амплітудами [1]. Ці завдання вирішують установкою у приводі пружних муфт з нелінійною характеристикою. Підвищення динамічності та вартості приводів машин робить актуальною проблему вдосконалення існуючих та створення нових конструкцій указаних пристроїв для забезпечення зниження інтенсивності коливальних процесів.

**Аналіз відомих досліджень.** Значний внесок у створення та дослідження нелінійних пружних муфт (НПМ) різних конструкцій внесли професори Г.В. Архангельський, В.С. Гапонов, Б.М. Гевко, М.М. Іванов, Б.І. Кіндрацький, М.Ф. Кірках, В.О. Малащенко, В.С. Поляков, Д.М. Решетов, О.А. Ряховський, І.І. Сидоренко, Є.В. Харченко, Б.М. Щокін, їх учні, співробітники та ряд інших учених. Нелінійну характеристику здатні реалізувати пасивні муфти (ПМ), активні муфти (АМ) [1] та пасивні муфти зі зворотнім зв'язком, який може бути організовано механічно (НПМ з МЗЗ) [2, 3], електромеханічно (НПМ з ЕМЗЗ) чи гідравлічно (НПМ з ГЗЗ) [4, 5]. Муфти (АМ), (НПМ з ЕМЗЗ) та (НПМ з ГЗЗ) є складними та дорогими пристроями, тому широкого вжитку в приводах сучасних машин не набули.

Огляд і критичний аналіз основних конструкцій механічних НПМ [3] показав, що найбільш перспективним є використання у них суцільнометалевих пружних елементів універсальної конструкції які мають власну лінійну або близьку до неї характеристику. В таких муфтах нелінійність забезпечується, згідно класифікації [3] за рахунок реалізації трьох конструктивних напрямків: послідовного навантаження пружних елементів, забезпечення змінного положення точки (лінії) прикладення навантаження до пружного елемента та "нетрадиційного" способу навантаження пружних елементів. Муфти, що реалізують вказані напрямки мають спільні недоліки: вони нереверсивні, потребують співвісності поєднаних валів [2] та нетехнологічні, оскільки містять ряд спеціальних деталей. Найбільш ефективну з точки зору зниження динамічних навантажень "м'яку" характеристику мають тільки муфти з "нетрадиційним" способом навантаження пружних елементів, або муфти з "квазінульовою" жорсткістю. У них "квазінульова" ділянка є вузькою і зменшується за наявності неспіввісності валів [6], а намагання її розширити приводять до ускладнення конструкції [7, 8].

Створення НПМ з МЗЗ дозволило істотно покращити характеристики муфт за рахунок організації зворотного зв'язку, проте для них залишились відкритими питання компенсаючої здатності та технологічності, оскільки напівмуфти цих муфт сполучені центральним стрижнем, містять зубчасті передачі, криволінійні пази [9] тощо.

Аналіз сучасного стану розвитку НПМ показав, що вони мають значну кількість технічних протиріч, які потребують вирішення за рахунок удосконалення існуючих або створення та дослідження нових конструкцій.

Забезпечення нелінійної характеристики муфт застосуванням спеціальних суцільнометалевих пружних елементів із власною нелінійною характеристикою в [3] справедливо визнано недоцільним через їх високу вартість. Але в якості таких пружних елементів можуть бути застосовані поширені в машинобудуванні вироби, для яких використання в муфтах є поки-що нетиповим, що створює передумови для розробки та дослідження нових конструкцій муфт.

В роботі [10] показано, що значну перспективу використання в якості пружних елементів муфт мають сталеві канати, та запропоновано основи структурного синтезу канатних муфт. Однією з найбільш перспективних є муфта з торцевою установкою прямих канатів (рисунок 1). Характеристика цієї муфти при її закручуванні в напрямку розтягу канатів є лінійною "жорсткою". Характеристика муфти при її закручуванні в напрямку стиску канатів досліджена недостатньо.

**Метою роботи** є дослідження крутильної жорсткості муфти з торцевою установкою прямих канатів при закручуванні в напрямку їх стиску.

**Досягнення поставленої мети.** В роботі [11] вивчали жорсткість при стиску дослідного зразка каната діаметром  $d_k=6\text{мм}$  конструкції  $(6\times 19+\text{o.c.})$  за ISO2408, встановленого у муфті за рисунку 1 (діаметр однієї дротини  $\delta=0,38\text{мм}$ , довжина  $L_k=33$ ). Канат затискали одним кінцем в шпіндельному патроні токарно-гвинторізного верстату 16К20, а іншим кінцем – в патроні встановленому в пінолі задньої бабки (рисунок 2). Деформацію каната заміряли індикатором годинникового типу, а зусилля стиску – за рахунок визначення моменту на маховику задньої бабки. Показник тертя в sprzęжнях бабки визначали попередньо за рахунок стиску тарувальної пружини жорсткістю  $c=0,35\text{кг/мм}$ , він склав  $\text{tg}(\psi + \varphi) = 0,38$ . Перерахунок колового зусилля на маховику бабки на осьове зусилля стискання

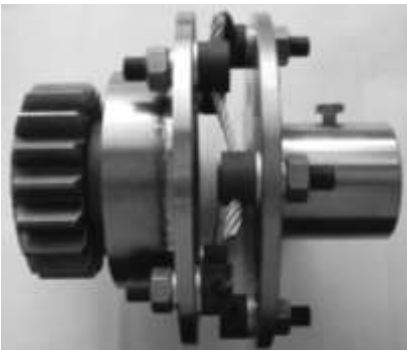


Рисунок 1 – Дослідний зразок муфти з торцевою установкою прямих канатів



Рисунок 2 – Визначення жорсткості каната при стиску

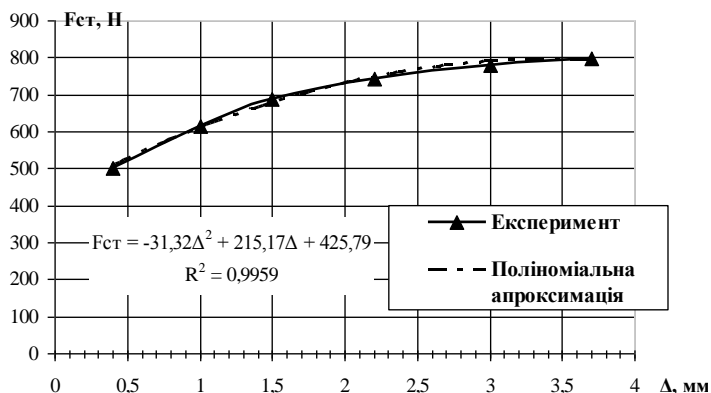


Рисунок 3 – Залежність відновлюючої сили сталевго каната від деформації при стиску каната робили за відомими залежностями з теорії гвинтової пари. Результати експерименту наочно демонструє побудований на рисунку 3 графік, з якого видно, що канат при стиску має власну нелінійну "м'яку" характеристику.

Для отримання характеристики муфти при її закручуванні в напрямку стиску канатів, розглянемо передачу нею обертового моменту  $T$  (рисунок 4). При цьому на кріпильному елементі  $B_ч$ , що закріплений у фланці ведучої напівмуфти (на рисунку не показаний) виникає сила  $F_{cm}$ , яка стискає канат і передається на кріпильний елемент  $B_м$ , що закріплений у фланці веденої напівмуфти, створюючи на ньому обертовий момент.

Сила стиску канатів  $F_{cm}$  залежить, аналогічно випадку їх розтягнення [12], від величини центрального кута  $\beta$ ,

$$F_{cm} = \frac{2T}{zD \cos(\beta/2)}, \quad (1)$$

де  $z$  – кількість канатів;  $D$  – діаметр розташування канатів.

Для муфти у недеформованому стані (положення показано на рисунку 4 суцільними лініями)  $\beta = \pi/z$ . Із прикладенням до муфти обертового моменту довжина кожного каната  $L_k$  зменшиться на величину його лінійної деформації  $\Delta$ , при цьому відбувається закручування напівмуфт на кут  $\varphi$ , а кут  $\beta$  набуде величини  $\beta = \pi/z - \varphi$  (положення показано на рисунку 4 штриховими лініями). Для цього випадку, з трикутника  $OBC$ :

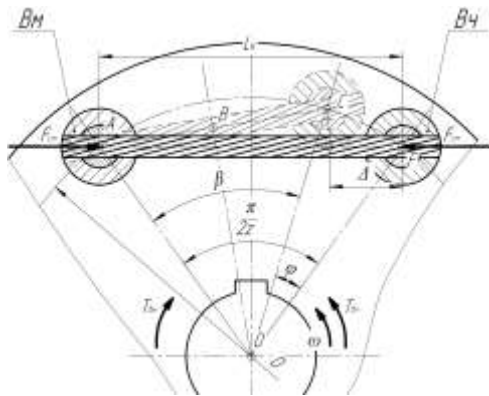


Рисунок 4 – Схема навантаження елементів муфти

$$\sin(\beta/2) = \frac{AB}{OA} = \frac{L_k - \Delta}{2} \times \frac{2}{D} = \frac{L_k - \Delta}{D}. \quad (2)$$

Звідки

$$\beta = 2 \arcsin \frac{L_k - \Delta}{D}, \quad (3)$$

$$\varphi = \frac{\pi}{z} - 2 \arcsin \frac{L_k - \Delta}{D}. \quad (4)$$

Перетворивши формулу (1) відносно моменту  $T$ , з урахуванням виразу (3), отримаємо формулу для визначення пружного моменту муфти,

$$T = \frac{z F_{cm} D \cos\left(\arcsin \frac{L_k - \Delta}{D}\right)}{2}. \quad (5)$$

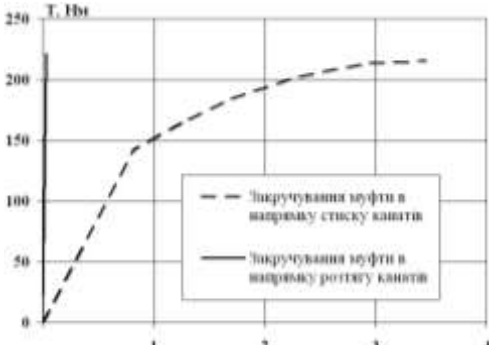


Рисунок 5 – Характеристики муфти з торцевою установкою прямих канатів

Після підстановки у вираз (5) формули поліноміальної апроксимації залежності відновлюючої сили каната  $F_{cm}$  від лінійної його деформації  $\Delta$  (рисунок 3), стало можливим виконати побудову характеристики муфти за рисунок 1 при її закручуванні в напрямку стиску канатів. На рисунку 5 показані характеристики муфти при її закручуванні в напрямку розтягу (суцільна лінія) та стиску (штрихова лінія) канатів.

З рисунка 5 робимо висновок про можливість отримання "м'якої" характеристики муфти з торцевою установкою прямих канатів при її закручуванні в напрямку стиску канатів. Це може дозволити покращити динамічні характеристики приводів машин за рахунок оснащення їх указаною муфтою.

### Висновки:

1. Вперше показана можливість отримання "м'якої" характеристики пружно-компенсуючої муфти з торцевою установкою прямих канатів при її закручуванні в напрямку стиску канатів;

2. Стиснуті канати, завдяки нелінійній характеристиці мають перспективи застосування якості пружних елементів різноманітних машин, наприклад для амортизаторів кранових механізмів підйому чи буферів.

**Напрямки перспективних досліджень.** Слід відзначити, що для поширення використання стиснутих канатів в якості пружних елементів муфт, необхідно провести більш ґрунтовні дослідження за наступними напрямками:

- стійкість канатів при жорсткому защемленні обох кінців;
- залежність відновлюючої сили стиснутих канатів від їх лінійної деформації;
- дослідження пружних елементів типу "канат у трубі";
- дослідження демпфуючої здатності стиснутих канатів;
- дослідження втомної міцності стиснутих канатів;
- вплив жорсткості закріплення канатів на крутильну жорсткість муфти;
- вплив кутів повороту затискних елементів на крутильну жорсткість муфти;
- залежність кута закручування муфти від довжини канатів та напрямки його збільшення;
- динаміка приводу, оснащеного муфтою з торцевою установкою прямих канатів.

**Список літератури:** 1. Евменкин В.И. Исследование планетарных муфт / В.И. Евменкин // Детали машин. – 1980. – Вып.31. – С.39-41. 2. Сидоренко И.И. Розроблення пружних муфт з механічним зворотнім зв'язком крутильної жорсткості за крутильним моментом, що передається: автореферат дис... канд. техн.наук: спец. 05.02.02 – машинознавство та деталі машин / И.И. Сидоренко. – Одеса, 1994. – 18с.

3. Сидоренко І.І. Пружна муфта з нелінійним механічним зворотним зв'язком / І.І. Сидоренко, В.О. Курган // Праці Одеського політехнічного університету. – 2011. – Вип.2. – С.38-45. 4. Колесник К.К. Зниження віброактивності приводних систем з пружними муфтами: автореферат дис. . канд.техн.наук: спец. 05.02.09 – динаміка та міцність машин / К.К. Колесник. – Львів, 2003. – 20с. 5. Ковальчук Р.А. Обґрунтування раціональних режимів пуску насосних агрегатів бурових установок: автореферат дис. . канд.техн.наук: спец. 05.02.09 – динаміка та міцність машин / Р.А. Ковальчук. – Львів, 2008. – 20с. 6. Іванченко Ф.К. О влиянии эксцентриситета между полумуфтами на характеристику упругой муфты / Ф.К. Иванченко, С.Л. Панов // Детали машин. – 1983. – Вып.37. – С. 26-28. 7. Киркач Н.Ф. Определение аналитического выражения для упругого момента в муфте с промежуточным барабаном / Н.Ф. Киркач, Л.В. Курмаз, А.В. Шаранов, А.Н. Гармашов // Детали машин. – 1986. – Вып.43. – С.29-32. 8. Архангельский Г.В. Эффективность использования упругой муфты с расширенным участком квазиулеевой жесткости / Г.В. Архангельский // Детали машин. – 1990. – Вып.51. – С.17-22. 9. Сидоренко І.І. Основи синтезу нелінійних динамічних віброгасників крутильних коливань / І.І. Сидоренко, С.С. Гутиця // Машинознавство. – 2010. – №1-2. – С.17-20. 10. Проценко В.О. Синтез пружно-компенсуючих муфт з канатними елементами: автореферат дис. . канд.техн.наук: спец. 05.02.02 – машинознавство / В.О. Проценко. – Львів, 2012. – 21с. 11. Проценко В.О. Пружні елементи зі стиснутих канатів: перспективи застосування та дослідження / В.О. Проценко // Матеріали Всеукраїнської наук.-практ. конф. "Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування 2012", (м. Херсон, 10-12 жовтня 2012 р.). – Херсон: Видавництво ХДМА, 2012. – С.134-136. 12. Проценко В.О. Проективання муфти з торцевою установкою прямих канатів / В.О. Проценко // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – К.: КНУБА, 2011. – Вип.77. – С. 44-50.

Надійшла до редколегії 15.03.2013

УДК 621.825.5/7

**Перспективи застосування муфт з торцевою установкою прямих канатів як пристроїв із нелінійною жорсткістю / В.О. Проценко, А.Ф. Сімагін // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми механічного приводу. – Х.: НТУ "ХПІ". – 2013. – №40(1013). – С.127-131. – Бібліограф.: 12 назв.**

На основе анализа современного состояния развития нелинейных упругих муфт показана необходимость разработки и исследования новых конструкций. На примере натурального образца доказано, что муфты с торцевой установкой прямых канатов имеют нелинейную характеристику при их закручивании в направлении сжатия канатов. Предложены направления перспективных исследований этих муфт и упругих элементов из сжатых канатов.

**Ключевые слова:** нелинейные упругие муфты, упругие элементы из сжатых канатов.

On the basis of analyze of development nonlinear elastic muff's necessity of working out and probe of new constructions is showed. On an example of natural sample is proved that muff's with face installation of direct ropes have a nonlinear performance at their twisting in a direction of squeezing ropes. Directions of perspective probes of these muff's and elastic elements from the squeezed ropes are offered.

**Keywords:** nonlinear elastic muff's, elastic elements from the squeezed ropes.

УДК 621.833

**О.И. САВЕНКОВ**, ассистент НУК им. адм. Макарова, Николаев

## **ПОВЫШЕНИЕ НАГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ ЗУБЧАТЫХ МУФТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК\***

Разработаны методы расчета нагрузочной способности зубчатых муфт, у которых внутренние зубья являются скошенными, а наружные зубья состоят из прямолинейно-криволинейных участков. Показано, что при определенных сочетаниях параметров профилирования наружных и внутренних зубьев возможно создание зубчатых муфт, у которых наблюдается равномерное распределение усилий между зубьями независимо от расцентровок осей.

**Ключевые слова:** муфта, зуб, усилие, перекося, продольная модификация.

**Постановка проблемы.** Повышение нагрузочной способности зубчатых муфт, работающих при перекосях осей соединяемых валов, является актуаль-

\*Работа выполнена под научным руководством д.т.н., проф. А.П. Попова.