

2. Предложенная методика позволяет построить впадину между зубьями эволютной передачи, в том числе и полностью скругленную, что наиболее выгодно с точки зрения изгибной прочности зуба.

3. Изменение коэффициента радиального зазора c^* (в данном примере его уменьшение) может привести к интерференции в передаче. Поэтому в дальнейшем будут проводиться исследования, посвященные этой задаче.

4. Полученные уравнения и профили переходных кривых зубьев послужат основой для построения параметрических и конечно-элементных моделей с целью исследования прочностных показателей зацепления.

Список литературы: 1. Павлов А.И. Современная теория зубчатых зацеплений. – Харьков: ХНАДУ, 2005. – 100с. 2. Павлов А.И. Эволютное зацепление и его характеристики // Вестник НТУ "ХПИ": Сб. научн. трудов. – Харьков, 2003. – Вып.5. – С.103–106. 3. ГОСТ 21354-87. Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внешнего зацепления. Расчет на прочность. – Введен 01.01.1989. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 76с. 4. Протасов Р.В., Устищенко А.В. Построение рабочих профилей зубьев эволютных передач // Вестник НТУ "ХПИ": Сб. научн. трудов. Тем. вып. "Машиноведение и САПР" – Харьков, 2010. – Вып.19. – С.124–128. 5. Гавриленко В.А. Зубчатые передачи в машиностроении. – М.:Машгиз, 1962 – 531с. 6. Литвин Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений. – М.: Наука: 1968. – 584с. 7. Кириченко А.Ф., Павлов А.И. Проектирование и расчет геометрии зубчатых передач с эволютным зацеплением // Вестник НТУ "ХПИ": Сб. научн. трудов. Тем. вып. "Проблемы механического привода". – Харьков, 2004. – Вып.30. – С.153–157.

Поступила в редколлегию 05.04.10

УДК 621.825.5/.7

В.О. ПРОЦЕНКО, магістр, аспірант ХНТУ, м. Херсон
В.О. НАСТАСЕНКО, к.т.н., доцент ХДМІ, м. Херсон
М.Е. ТЕРНЮК, д.т.н., директор ІМіС, м. Харків

ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗВИТКУ РУХОМИХ ПРУЖНО-КОМПЕНСУЮЧИХ МУФТ З КАНАТНИМИ ПРУЖНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ

В статті представлена нова концепція розвитку рухомих пружно-компенсуючих муфт і обґрунтована потреба застосування в якості пружних елементів муфт канатів. Виконане прогнозування розвитку рухомих пружно-компенсуючих муфт з канатними пружними елементами методом морфологічного аналізу, що дозволяє створити ряд їх нових конструкцій.

The new concept of development movable elastic-compensating muffs is presented and the requirement of application as elastic elements muffs ropes is proved in article. Forecasting of development movable elastic-compensating muffs with rope elastic elements a method of the morphological analysis that allows creating a number of their new designs is executed.

Технічний прогрес обумовлює використання високопродуктивних економічних машин, а підвищення продуктивності машин досягається за рахунок збіль-

шення їх експлуатаційних швидкостей, що супроводжується підвищенням динамічних навантажень в приводі. Збільшення економічності машин досягається за рахунок уніфікації, агрегування та побудови машин модульної конструкції.

В даних умовах актуальним є синтез рухомих пружно-компенсуючих муфт підвищеної демпфуючої та компенсуючої здатності. Застосування таких муфт дасть можливість підвищити швидкохідність нових та закласти резерв для модернізації існуючих машин, а також знизити витрати на їх монтаж.

Прогнозування розвитку рухомих пружно-компенсуючих муфт з металевими пружними елементами показало, що сучасні конструкції муфт, у більшості, досягли глобального екстремуму функціональних параметрів, тому подальший розвиток таких муфт, у відповідності до закону прогресивної еволюції техніки, йтиме за рахунок реалізації нового принципу дії.

Новий принцип дії муфт з металевими пружними елементами реалізується за рахунок застосування в якості пружних елементів канатів.

Відомо, що пружні елементи із спресованих дротів [1], та гнучкі вали, що являють собою багатошарові пружини кручення, характеризуються високим конструкційним демпфуванням [2] за рахунок наявності великої кількості контактів, в яких розвивається тертя, що призводить до розсіювання енергії.

Канати суміщають в собі властивості вказаних елементів за рахунок тертя дротів у сталках і сталок між собою та наявності додаткового кручення від вигину [3-7], що робить перспективним їх використання в муфтах.

При цьому муфти з канатними пружними елементами позбавлені багатьох недоліків наявних в існуючих конструкціях муфт з металевими пружними елементами.

Застосування канатів в муфтах надає їм значних переваг, до яких відноситься:

- 1) Висока навантажувальна здатність та довговічність, за рахунок високої міцності канатів.
- 2) Висока компенсуюча здатність, за рахунок високої гнучкості канатів.
- 3) Висока демпфуюча здатність за рахунок тертя дротів у сталках і сталок між собою при згині та крученні канатів.
- 4) Технологічність пружного елемента, оскільки виробництво сталевих канатів централізовано налагоджене багатьма підприємствами.
- 5) Зменшення періодичності та спрощення нагляду і мащення, оскільки мастилом просочене осердя каната.
- 6) Канатні пружні елементи можуть бути виготовлені з неліквідів канатних заводів та утилізовані після відбраковки з вантажопідійомних машин за рахунок застосування в муфтах, що сприятиме зниженню вартості муфт.

Переваги муфт з канатними пружними елементами підтверджують необхідність їх широкого застосування в сучасних конструкціях машин, що потребує пошуку шляхів їх розвитку.

Розв'язання даних проблем являється актуальним та важливим для розвитку техніки і становить головну мету даної роботи.

Однією з найпростіших канатних муфт є конструкція з осьюою центра-

льною установкою каната, в якій вісь каната співпадає з віссю напівмуфт, канат в цьому випадку працює на кручення [8]. Недоліком цієї конструкції є складність та нетехнологічність виготовлення деталей напівмуфти, а саме:

- 1) Пазів із сферичним дном та пірамідальних заглиблень у зтяжних втулках.
- 2) Неможливість реверсивної роботи муфти через розкручування каната.
- 3) Неможливість зміни пружного елемента без осьового зсуву валів.

Підвищення компенсуючої та демпфуючої здатності досягається за рахунок осьової центральної установки каната форми гвинтової спіралі [9], однак, при цьому конструкція муфти ускладнюється і зменшується її надійність, за рахунок збільшення кількості елементів.

Підвищення навантажувальної здатності муфт досягається за рахунок осьової паралельної установки канатів прямолінійної форми, кінці яких закріплені у втулках, у фланцях напівмуфт [10]. Муфта зберігає переваги попередніх канатних конструкцій, крім цього, в даній конструкції можлива зміна пружних елементів без осьового зсуву валів.

До недоліків відноситься:

1) Конструкція пружних елементів (скріплення канатів із втулками нетехнологічне, оскільки потребує додаткової складальної операції).

2) Нетехнологічність елементів муфти – дисків та втулок.

Подальший аналіз існуючих конструкцій муфт показав, що радіальна установка канатів прямолінійної форми [11] дозволяє скоротити осьові габарити та підвищити компенсуючу здатність муфти. До недоліків муфти відноситься нетехнологічність виготовлення напівмуфт та складність заміни пружного елемента.

Зменшення жорсткості муфти та збільшення її демпфуючої здатності досягається петлеподібною установкою канатів у напівмуфтах із затисненням кінчними вкладишами [12, 13]. Недоліками таких муфт є складність монтажу та регулювання пружних елементів, через складність забезпечення їх рівномірної зтяжки.

Виконаний аналіз існуючих конструкцій канатних муфт виявив значний резерв їх удосконалення та розвитку, оскільки відомі на сьогоднішній день конструкції характеризуються рядом суттєвих недоліків. Із перспективністю застосування в муфтах канатних пружних елементів пов'язана постановка мети пропонуваної статті – прогнозування розвитку рухомих пружно-компенсуючих муфт з канатними пружними елементами.

Пошук шляхів розвитку муфт з канатними пружними елементами здійснено в даній статті за рахунок прогнозування їх розвитку системним методом морфологічного аналізу [14, 15].

Даний підхід стосовно муфт з канатними пружними елементами застосовано вперше, що становить наукову новизну даної роботи.

В якості морфологічних ознак виділимо три параметри конструкції муфт:

- 1) вид пружних елементів;
- 2) форма пружних елементів;
- 3) установка пружних елементів.

Для зручності подальшого використання морфологічної ознаки позначимо символами, вид пружних елементів – символом А, форми пружних елементів – символом Б, установку пружних елементів – символом В.

В теперішній час найбільш розповсюдженими є канати: сталеві, сталеві з еластомірною трубчастою оболонкою, сталеві з полімерним покриттям, гумово-тросові, канати з еластомірів.

Позначимо описані канати символами:

1. Сталевий канат – А₁;
2. Сталевий канат з еластомірною трубчастою оболонкою – А₂;
3. Сталевий канат з полімерним покриттям – А₃;
4. Гумово-тросовий канат – А₄;
5. Канат із еластомірів – А₅.

Для форми пружних елементів матимемо варіанти:

1. Прямолінійна форма – Б₁;
2. Форма гвинтової спіралі – Б₂;
3. Форма пласкої спіралі – Б₃;
4. Змієподібна форма – Б₄;
5. О – подібна форма – Б₅;
6. U – подібна вигнута форма – Б₆;
7. U – подібна увігнута форма – Б₇;
8. S – подібна вигнута форма – Б₈;
9. S – подібна увігнута форма – Б₉;

Для установок матимемо такі варіанти:

1. Осьова центральна установка – В₁;
2. Осьова паралельна установка – В₂;
3. Радіальна установка – В₃;
4. Радіально-осьова установка – В₄;
5. Торцева установка – В₅;
6. Торцево-радіальна установка – В₆;
7. Тангенціальна установка – В₇;
8. Тангенціально-осьова установка – В₈.

Із виділених морфологічних ознак та їх варіантів складаємо морфологічну матрицю у вигляді таблиці 1.

Знаходимо повне число варіантів розкриття матриці N:

$$N_{x,y,z} = (K_A)^x (K_B)^y (K_V)^z, \quad (1)$$

де K_A, K_B, K_V – кількість варіантів морфологічних ознак А, Б, В; x, y, z – кількість варіантів кожної морфологічної ознаки, що застосовуються в одній муфті.

В даному випадку K_A=5, K_B=9, K_V=8, x=1, y=1, z=1, тоді:

$$N_{1,1,1} = (5)^1 (9)^1 (8)^1 = 360.$$

Розкриття морфологічної матриці дає N=360 варіантів технічних рішень.

Отже, на кожен вид пружного елемента припадає по 72 варіанти конструкцій.

Оскільки на теперішній час найбільш широко розповсюдженими, технологічними та дешевими є звичайні сталеві канати і застосування цих канатів в муфтах різко збільшить їх ремонтоздатність, тому що пружні елементи таких муфт можна буде виготовляти із працездатних ділянок відбракованих канатів вантажопідійомних машин та за рахунок застосування неліквідів канатних заводів, то для подальшої розробки в даній роботі приймаємо пружні муфти зі сталевими канатами.

Четвертий етап морфологічного аналізу передбачає відсіювання нереальних і тавтологічних варіантів:

Таблиця 1 – Морфологічна матриця прогнозування розвитку рухомих пружно-компенсуючих муфт з канатними пружними елементами при $x=1, y=1, z=1$

Морфологічні ознаки та їх варіанти					Характеристика морфологічних ознак				
A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	Вид пружних елементів: Сталевий канат A ₁ , сталевий канат з еластичною трубчастою оболонкою A ₂ , сталевий канат з полімерним покриттям A ₃ , гумовотросовий канат A ₄ , канат із еластичних елементів A ₅				
B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	B ₇	B ₈	B ₉	Форма пружних елементів: Прямолінійна B ₁ , форма гвинтової спіралі B ₂ , форма плоскої спіралі B ₃ , змієподібна B ₄ , O – подібна B ₅ , U – подібна вигнута B ₆ , U – подібна увігнута B ₇ , S – подібна вигнута B ₈ , S – подібна увігнута B ₉
V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	V ₆	V ₇	V ₈	Установка пружних елементів: Осьова центральна V ₁ , осьова паралельна V ₂ , радіальна V ₃ , радіально-осьова V ₄ , торцева V ₅ , торцево-радіальна V ₆ , тангенціальна установка V ₇ , тангенціально-осьова V ₈	

1. Варіанти A₁B₁V₃ і A₁B₁V₅ та A₁B₁V₆ є тавтологічними, оскільки радіальна установка каната прямолінійної форми еквівалентна торцевій та торцево-радіальній установкам, що зменшує загальну кількість варіантів розкриття матриці на N₁=2.

2. Варіанти A₁B₁V₄ і A₁B₁V₈ є тавтологічними, оскільки радіально-осьова установка каната прямолінійної форми еквівалентна тангенціально-осьовій установці, що зменшує загальну кількість варіантів розкриття матриці на N₂=1.

3. Варіанти A₁B₂V₃ і A₁B₂V₅ та A₁B₂V₆ є тавтологічними, оскільки радіальна установка каната форми гвинтової спіралі еквівалентна торцевій та торцево-радіальній установкам, що зменшує загальну кількість варіантів розкриття матриці на N₃=2.

4. Варіанти A₁B₂V₄ і A₁B₂V₈ є тавтологічними, оскільки радіально-осьова установка каната форми гвинтової спіралі еквівалентна тангенціально-осьовій установці, що зменшує загальну кількість варіантів розкриття матриці на N₄=1.

5. Варіанти A₁B₁V₂ і A₁B₆V₂ та A₁B₇V₂ є тавтологічними, оскільки осьова

паралельна установка каната прямолінійної форми еквівалентна осьовій паралельній установці канатів U – подібної вигнутої та U – подібної увігнутої форм, що зменшує загальну кількість варіантів розкриття матриці на N₅=2.

6. Очевидно, що варіанти A₁B_{2-4,8,9}V₁₋₈ є технологічно складними, оскільки надання канатові форм гвинтової та плоскої спіралей, змієподібної, S – подібної вигнутої та S – подібної увігнутої викликати ускладнення при виготовленні та монтажу і потребуватиме спеціального оснащення та нових технологій. На даному етапі виключимо ці варіанти, з послідовним уточненням практикою, тому N₆=40.

Тоді дійсне число варіантів розкриття матриці складе:

$$N_d = N - N_1 - N_2 - N_3 - N_4 - N_5 - N_6 = 72 - 2 - 1 - 2 - 1 - 2 - 40 = 24.$$

З виконаної роботи за рахунок прогнозування розвитку муфт з канатними пружними елементами, очевидно, що:

1) Розробка нових конструкцій канатних муфт є доцільною через їх переваги.

2) Число реально відтворюваних варіантів конструкцій муфт відрізняється від числа відомих варіантів. Це означає можливість розробки нових конструкцій і спрощує пошук нових технічних рішень в даній галузі.

3) В нових конструкціях потрібне виключення недоліків відомих конструкцій муфт, які обмежують їх застосування в приводах сучасних машин.

Список літератури: 1. Фомин М.В. Рассеяние энергии в упругих элементах из спрессованной проволоки // Известия вузов. Машиностроение. – 1976. – №7. – С.15–18. 2. Глоzman В.М., Зборовская И.А. Демпфирующие свойства гибкого проволочного вала при поперечных колебаниях // Детали машин. – 1978. – Вып.26. – С.65–69. 3. Зелокова Р.В. Расчет полых валов при колебаниях с канатным демпфером // Стальные канаты. – 1966. – Вып.3. – С.150–154. 4. Жиряков А.И. Рассеяние энергии при поперечных колебаниях растянутого каната // Подъемно-транспортное оборудование. – 1980. – Вып.11. – С.49–52. 5. Мулов Д.В. Экспериментальные исследования упруго-демпфирующих свойств кольцевых канатных демпферов // Научные работы Донецкого национального технического университета. – 2008. – Вып.16. – С.198–203. 6. Хромов О.В. Экспериментальные исследования характеристик внутреннего трения стальных спиральных канатов и проволоки // Труды Одесского политехнического университета. – 2009. – Вып.1. – С.32–35. 7. Малиновский В.А. Стальные канаты. Часть 1: Некоторые вопросы технологии, расчета и проектирования. – Одесса: Астропринт, 2001. – 188с. 8. Упругая муфта: А.с.830040 СССР; МКИ F16D 3/74 / Н.И. Бондарь, В.М. Мороз (СССР). – №2702880/25-27; Заявлено 26.12.78; Опубликовано 15.05.81, Бюл. №18. – 2с. 9. Упругая муфта: А.с.1183746 СССР; МКИ F16D 3/74 / Р.О. Мовсесян, А.М. Языджиан (СССР). – №3644844/25-27; Заявлено 14.07.83; Опубликовано 15.05.81, Бюл. №18. – 2с. 10. Упругая муфта: А.с.413300 СССР; МКИ F16D 3/72 / Н.Н. Губин, О.И. Гудым, Н.Н. Щелудяков, В.Ф. Юдченко (СССР). – №1772389/25-27; Заявлено 17.04.72; Опубликовано 30.01.74, Бюл. №4. – 2с. 11. Упругая муфта: А.с.281964 СССР; МКИ F16D 3/58 / Ю.В. Можяев (СССР). – №1364415/25-27; Заявлено 14.09.70; Опубликовано 07.04.71, Бюл. №29. – 2с. 12. Упругая муфта: А.с.681261 СССР; МКИ F16D 3/74 / М.С. Тривайло (СССР). – № 2586777/25-27; Заявлено 02.03.78; Опубликовано 25.08.79, Бюл. №31. – 2с. 13. Упругая муфта: А.с.881410 СССР; МКИ F16D 3/74 / С.Г. Земсков, В.В. Вороничев (СССР). – №2860016/25-27; Заявлено 27.12.79; Опубликовано 15.11.81, Бюл. №42. – 2с. 14. Прогнозування розвитку технічних систем / Кузнецов Ю.М., Скляр Р.А. / Під заг. ред. Ю.М. Кузнецова. – К.: ТОВ "ЗМОК" – ПП "ГНОЗИС", 2004. – 323с. 15. Настасенко В.А. Морфологический анализ – метод синтеза тысяч изобретений. – К.: Техніка, 1994. – 44с.

Надійшла до редколегії 15.05.2010