

ній передачі через деформативності ланок величина деформації гнучкого колеса була не такою, як при теоретичному підрахунку ($W=m$), а значно менше. Розширюючи завдання, поставлене в роботі [2], можна написати рівняння для розрахунку бічних зазорів при різній глибині входу зубців гнучкого колеса в западини жорсткого. Рішення цього завдання дає ряд кривих для різних величин глибини заходу зубців хвильової передачі. Ці криві представлені на рисунку 8. Порівняння результатів виміру зношування зубчастих вінців з розрахунковими кривими в зоні негативних зазорів (натягів) зубців гнучкого й жорсткого коліс показує, що точка максимального натягу (крива 3) відповідає зміні профілю зубця гнучкого колеса за період приробітку. Деформація генератора хвиль при статичному навантаженні хвильового редуктора номінальним моментом дорівнювала 0,26мм. Це значення приблизно відповідає різниці розрахункових деформацій гнучкого колеса для кривих 1 і 3. На підставі сказаного можна прийти до висновку, що реальні зазори між зубцями гнучкого і жорсткого коліс описуються кривою 3. При використанні гнучких коліс невеликої твердості розбіжність розрахункових параметрів зачеплення з дійсними не грає великої ролі, тому що зуби гнучкого колеса порівняно швидко притираються.

У випадку застосування загартованих коліс великої твердості зубці погано притираються. Тому при проектуванні хвильової передачі із загартованими гнучким і жорстким колесами необхідно вибирати більший запас по інтерференції 2-го роду, наприклад, мінімальний зазор при вході зубців гнучкого колеса в западини жорсткого повинен вибиратися в межах $j_{\min}=(0,08\dots 0,1)m$. Перевірка зачеплення по інтерференції 2-го роду спроектованої передачі повинна виконуватися з урахуванням деформацій генератора хвиль під номінальним навантаженням, при цьому мінімальний зазор повинен бути більше $j_{\min}>0,04m$.

Висновки.

1. Виключення надлишкових в'язей (зв'язків) в СХЗП ц зменшення частоти обертання генератора хвиль дозволяє значно знизити напруження розтягу в зоні зубчастого вінця гнучкого колеса.

2. На працездатність гнучкого колеса істотно впливають надлишкові зв'язки, сили ваги та інерції ланок СХЗП, що слід враховувати при проектуванні таких передач.

3. Встановлено вплив приробляння зубців СХЗП на призначений ресурс роботи цих передач.

4. Для запобігання інтерференції 2-го роду в СХЗП встановлено, що мінімальний зазор в хвильовому зубчастому зачепленні повинен бути більше $j_{\min}>0,04m$.

Список літератури: 1. *Приймаков О.Г.* Розрахунок та проектування силових хвильових зубчастих передач. – Харків: Вид-во ХУПС ім. І. Кожедуба, 2004. – 216с. 2. *Полетучий А.И.* Теория и конструирование высокоэффективных волновых зубчатых механизмов. – Харьков: Изд-во НАКУ "ХАИ" им. Н.Е. Жуковского, 2005. – 675с. 3. *Маргулис М.В., Волков Д.П.* Динамический анализ приводов с волновыми зубчатыми передачами// Вестник машиностроения. – 1988. – №5. – С.23–25. 4. *ГОСТ 24439-80.* Мотор-редукторы волновые зубчатые типа МВз. Основные параметры и размеры. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 20с.

Надійшла до редколегії 15.04.10

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 МЕТАЛЕВИМИ ПРУЖНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ

В статті запропонована нова система класифікації рухомих пружно-компенсуючих муфт з металевими пружними елементами, що розроблена на базі системного підходу до створення можливих конструкцій методом морфологічного аналізу. На основі запропонованої класифікації виконане прогнозування розвитку муфт. Запропонований напрямок розвитку рухомих пружно-компенсуючих муфт з металевими пружними елементами.

The new system of classification movable elastic-compensating muffts with metal elastic elements which is developed on the base of the system approach to creation of possible designs by a method of the morphological analysis is proposed in article. On the base of the proposed classification the forecasting of development of muffts is executed. The direction of development movable elastic-compensating muffts with metal elastic elements is proposed.

Сучасні тенденції до побудови машин модульної та агрегатованої конструкції, спрямовані на зосередження великих потужностей в одному агрегаті, викликають постійний ріст вимог до технологічності виготовлення, складання і ремонтоздатності, машин [1-3]. Найбільш важливою з вимог є ріст довговічності складових частин машин, а особливо таких відповідальних з них, як рухомі пружно-компенсуючі муфти, що вимагає розвитку існуючих і пошуку нових технічних рішень у даній галузі.

Для потреб сучасного машинобудування, що стрімко ростуть за рахунок збільшення експлуатаційної швидкості та потужності машин, особливо актуальним є пошук шляхів розвитку рухомих пружно-компенсуючих муфт з металевими пружними елементами для розширення сфери їх застосування.

Аналіз відомих конструкцій [1-3, 8-25] показав, що дотепер створена значна кількість конструкцій рухомих пружно-компенсуючих муфт з металевими пружними елементами. Однак без використання системних методів прогнозування розвитку технічних систем, немає можливості дати вичерпну відповідь, чи повністю охоплюють відомі технічні рішення всі можливі варіанти конструкцій муфт? Це також зменшує можливості науково обгрунтованого прогнозування їх майбутнього розвитку.







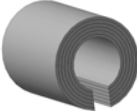


Розв'язання даних проблем являється актуальним та важливим для розвитку техніки і становить головну мету даної роботи.

Пошук шляхів удосконалення муфт в даній статті здійснено за рахунок прогнозування, розвитку рухомих пружно-компенсуючих муфт з металевими пружними елементами з використанням системного методу морфологічного аналізу.

Даний підхід до муфт застосовано вперше, що становить наукову новизну роботи.

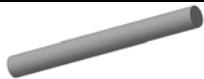








Аналіз сучасних конструкцій рухомих пружно-компенсуючих муфт з металевими пружними елементами, які застосовуються в сучасному машинобудуванні, показав, що в теперішній час у більшості їх конструкцій застосовують пружні елементи, які наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Види металевих пружних елементів

№	Назва пружного елемента	Рисунок
1	Гвинтова пружина	
2	Пружний стрижень	
3	Змієподібна пружина	
4	Криволінійна пластинчаста пружина	
5	Пружний диск	
6	Пакет пластинчастих пружин	
7	Пакет гільзових пружин	
8	Циліндр із прорізами	
9	Сільфон	

Вказані пружні елементи в муфтах мають форми, які наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Форми пружних елементів

№	Назва форми пружного елемента	Рисунок
1	Прямолінійна	
2	Форма гвинтової спіралі	
3	Форма пласкої спіралі	
4	Змієподібна	
5	О – подібна	
6	U – подібна вигнута	
7	U – подібна увігнута	
8	S – подібна вигнута	
9	S – подібна увігнута	

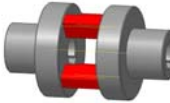


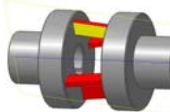
В існуючих конструкціях муфт застосовуються наступні установки вказаних пружних елементів (таблиця 3):

1. Осьова центральна установка – при якій вісь симетрії пружного елемента співпадає з віссю напівмуфт.

2. Осьова паралельна установка – при якій вісь симетрії пружного елемента паралельна осі напівмуфт і не співпадає з нею.

3. Радіальна установка – при якій пружний елемент і вісь напівмуфт лежать в одній площині, а вісь симетрії пружного елемента перпендикулярна до осі напівмуфт.

Таблиця 3 – Установки пружних елементів

№	Назва установки пружного елемента	Рисунок
1	Осьова центральна	
2	Осьова паралельна	
3	Радіальна установка	
4	Радіально-осьова установка	
5	Торцева	
6	Торцево-радіальна	
7	Тангенціальна	
8	Тангенціально-осьова	

4. Радіально-осьова установка – при якій пружний елемент і вісь напівмуфт лежать в одній площині, а вісь симетрії пружного елемента перетинає вісь напівмуфт під непрямым кутом.

5. Торцева установка – при якій пружний елемент лежить у площині, перпендикулярній до осі напівмуфт, і вісь симетрії пружного елемента схрещується з віссю напівмуфт.

6. Торцево-радіальна установка – при якій пружний елемент лежить у площині, перпендикулярній до осі напівмуфт, а вісь симетрії пружного елемента перетинається з віссю напівмуфт.

7. Тангенціальна установка – при якій пружний елемент лежить у площині, неперпендикулярній до осі напівмуфт, а вісь симетрії пружного елемента схрещується з віссю напівмуфт.

8. Тангенціально-осьова установка – при якій пружний елемент лежить у площині, неперпендикулярній до осі напівмуфт, а вісь симетрії пружного елемента перетинається з віссю напівмуфт.

Прогнозування розвитку муфт будемо виконувати на основі методу морфологічного аналізу [4-7], який передбачає:

1. Постановку задачі, вибір об'єкту морфологічного дослідження.

2. Вибір морфологічних ознак (вихідних даних у вигляді найважливіших характеристик об'єкту та його параметрів, від яких залежить досягнення поставленої мети).

3. Виявлення можливих варіантів кожної ознаки і складання морфологічної матриці. Визначення повного числа варіантів.

4. Розкриття можливих варіантів у вигляді комбінацій вихідних елементів, відсіювання нереальних і тавтологічних варіантів, аналіз існуючих рішень.

5. Відбір найбільш перспективних рішень.

В якості морфологічних ознак виділимо три параметри конструкції муфт:

1) вид пружних елементів;

2) форма пружних елементів;

3) установка пружних елементів.

Даний вибір обумовлений тим, що ці показники визначають конструкцію інших елементів муфт та їх основні експлуатаційні характеристики (компенсуючу та демпфуючу здатність, жорсткість, енергомісткість). Вказані ознаки є адекватними (відповідають одне одному по значенню), доступними (задані в своїй природній формі), незалежними, універсальними, і допускають розширення обсягу та аналіз помилок [5].

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

Для пружних елементів матимемо такі варіанти:

1. Гвинтові пружини – А₁;

2. Змієподібні пружини – А₃;

3. Криволінійні пластинчасті пружини – А₄;

4. Пружні диски – А₅;

5. Пакети пластинчастих пружин – А₆;

6. Пакети гільзових пружин – А₇;

7. Циліндри із прорізами – А₈;

8. Сільфони – А₉.

Для форми пружних елементів матимемо варіанти:

1. Прямолинійна форма – B₁;
2. Форма гвинтової спіралі – B₂;
3. Форма пласкої спіралі – B₃;
4. Змієподібна форма – B₄;
5. O – подібна форма – B₅;
6. U – подібна вигнута форма – B₆;
7. U – подібна увігнута форма – B₇;
8. S – подібна вигнута форма – B₈;
9. S – подібна увігнута форма – B₉;

Для установок матимемо такі варіанти:

1. Осьова центральна установка – B₁;
2. Осьова паралельна установка – B₂;
3. Радіальна установка – B₃;
4. Радіально-осьова установка – B₄;
5. Торцева установка – B₅;
6. Торцево-радіальна установка – B₆;
7. Тангенціальна установка – B₇;
8. Тангенціально-осьова установка – B₈.

Попередньо запишемо формулу для визначення повного числа розкриття морфологічної матриці в загальному вигляді [4,5]:

$$N = \prod_{i=1}^n K_i, \quad (1)$$

де i – порядковий номер морфологічної ознаки; n – кількість морфологічних ознак; K – кількість варіантів морфологічної ознаки.

Тоді, застосовно до муфт, маємо $n=3$, і, якщо вважати, що одна муфта може включати в себе x видів пружних елементів, які можуть приймати у різних, із описаних, форм, і бути установленими z різними із описаних установок, то отримаємо формулу для визначення повного числа варіантів розкриття матриці N :

$$N_{x,y,z} = (K_A)^x (K_B)^y (K_V)^z, \quad (2)$$

де K_A, K_B, K_V – кількість варіантів морфологічних ознак А, Б, В.

У випадку, коли застосовуються два види пружних елементів, дві форми та два способи установки, морфологічна матриця прогнозування набуде виду таблиці 4.

При цьому, матимемо $x=2, y=2, z=2$. Тоді повне число варіантів розкриття матриці N , згідно формули 2, при $K_A=9, K_B=9, K_V=8$, складе:

$$N_{2,2,2} = (9)^2 (9)^2 (8)^2 = 419904.$$

Таблиця 4 – Морфологічна матриця прогнозування розвитку рухомих пружно-компенсуючих муфт з металевими пружними елементами при $x=2, y=2, z=2$

Морфологічні ознаки та їх варіанти									Характеристика морфологічних ознак
A ₁₁	A ₁₂	A ₁₃	A ₁₄	A ₁₅	A ₁₆	A ₁₇	A ₁₈	A ₁₉	Вид пружних елементів: Гвинтові пружини A _{11,21} , пружні стрижні A _{12,22} , змієподібні пружини A _{13,23} , криволінійні пластинчасті пружини A _{14,24} , пружні диски A _{15,25} , пакети пластинчастих пружин A _{16,26} , пакети гільзових пружин A _{17,27} , циліндри з прорізами A _{18,28} , сільфони A _{19,29}
A ₂₁	A ₂₂	A ₂₃	A ₂₄	A ₂₅	A ₂₆	A ₂₇	A ₂₈	A ₂₉	
B ₁₁	B ₁₂	B ₁₃	B ₁₄	B ₁₅	B ₁₆	B ₁₇	B ₁₈	B ₁₉	Форма пружних елементів: Прямолинійна B _{11,21} , форма гвинтової спіралі B _{12,22} , форма пласкої спіралі B _{13,23} , змієподібна B _{14,24} , O – подібна B _{15,25} , U – подібна вигнута B _{16,26} , U – подібна увігнута B _{17,27} , S – подібна вигнута B _{18,28} , S – подібна увігнута B _{19,29}
B ₂₁	B ₂₂	B ₂₃	B ₂₄	B ₂₅	B ₂₆	B ₂₇	B ₂₈	B ₂₉	
V ₁₁	V ₁₂	V ₁₃	V ₁₄	V ₁₅	V ₁₆	V ₁₇	V ₁₈		Установка пружних елементів: Осьова центральна V _{11,21} , осьова паралельна V _{12,22} , радіальна V _{13,23} , радіально-осьова V _{14,24} , торцева V _{15,25} , торцево-радіальна V _{16,26} , тангенціальна установка V _{17,27} , тангенціально-осьова V _{18,28}
V ₂₁	V ₂₂	V ₂₃	V ₂₄	V ₂₅	V ₂₆	V ₂₇	V ₂₈		

Очевидно, що застосування в муфті кількох видів пружних елементів не сприятиме зниженню її вартості, що набуло особливого значення в умовах економічної кризи. Крім цього, суміщення в одній муфті двох установок пружних елементів, наприклад, радіальної, і осьової центральної, обумовить, крім збільшення вартості, ріст її ваги, махового моменту, і, як наслідок, пускового моменту приводу, що також є негативним фактором. Водночас, поєднання в одній муфті кількох видів пружних елементів різних форм і установок, через складність реалізації, в світовій практиці муфтобудування поширення не отримало, що також доводить його недоцільність.

Таким чином, найбільш доцільною і поширеною схемою побудови муфт являється схема з одним видом пружного елемента, який має одну форму і реалізує одну установку, тоді $x=1, y=1, z=1$.

Морфологічна матриця прогнозування розвитку рухомих пружно-компенсуючих муфт з металевими пружними елементами при $x=1, y=1, z=1$ побудована у вигляді таблиці 5.

Таблиця 5 – Морфологічна матриця прогнозування розвитку рухомих пружно-компенсуючих муфт з металевими 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	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	Вид пружних елементів: Гвинтові пружини A ₁ , пружні стрижні A ₂ , змієподібні пружини A ₃ , криволінійні пластинчасті пружини A ₄ , пружні диски A ₅ , пакети пластинчастих пружин A ₆ , пакети гільзових пружин A ₇ , циліндри з прорізами A ₈ , сільфони A ₉
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 пласкої 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 .

Повне число варіантів розкриття цієї матриці складе:

$$N_{2,2,2} = (9)^1 (9)^1 (8)^1 = 648.$$

Розкриття морфологічної матриці дає 648 варіантів технічних рішень, які неможливо охопити без використання даного системного методу пошуку.

Четвертий етап морфологічного аналізу передбачає відсіювання нереальних і тавтологічних варіантів.

В результаті аналізу морфологічної матриці зроблено висновок, що тавтологічними є наступні варіанти:

1. A₂B₂V₁₋₈, і A₁B₁V₁₋₈, оскільки пружний стрижень гвинтової форми еквівалентний гвинтовій пружині прямолінійної форми, що зменшує загальну кількість варіантів розкриття матриці на N₁=8.

2. A₂B₂V₁₋₈ і A₃B₁V₁₋₈, оскільки пружний стрижень змієподібної форми еквівалентний змієподібній пружині прямолінійної форми, що зменшує загальну кількість варіантів розкриття матриці на N₂=8.

3. A₂B₆₋₉V₁₋₈ і A₅B₆₋₉V₁₋₈, оскільки пружний стрижень U – подібної вигнутої, U – подібної увігнутої, S – подібної вигнутої, S – подібної увігнутої форм еквівалентний пружному диску вказаних форм, що зменшує загальну кількість варіантів розкриття матриці на N₃=32.

4. A₆B₅V₁₋₈ і A₇B₁V₁₋₈, оскільки пакет гільзових пружин прямолінійної форми еквівалентний пакету пластинчастих пружин O-подібної форми, що зменшує загальну кількість варіантів розкриття матриці на N₄=8.

5. A_{1,3-9}B₆₋₉V₂ і A_{1,3-9}B₁V₂, оскільки пружні елементи U – подібної вигнутої, U – подібної увігнутої, S – подібної вигнутої, S – подібної увігнутої форм

при осьовій паралельній установці, еквівалентні пружним елементам прямолінійної форми при осьовій паралельній установці, що зменшує загальну кількість варіантів розкриття матриці на N₅=32.

6. A_{2,8,9}B₁V₄₋₆ і A_{2,8,9}B₁V₃, оскільки радіально-осьова, торцева, та торцево-радіальна установки пружних стрижні, циліндрів з прорізами, та сільфонів прямолінійної форми еквівалентні радіальній установці цих елементів, що зменшує загальну кількість варіантів розкриття матриці на N₆=9.

7. A_{2,8,9}B₁V_{7,8} і A_{2,8,9}B₁V₂, оскільки тангенціальна та тангенціально-осьова, установки пружних стрижні, циліндрів з прорізами, та сільфонів прямолінійної форми, еквівалентні осьовій паралельній установці цих елементів, що зменшує загальну кількість варіантів розкриття матриці на N₇=6.

8. A_{2,6}B_{3,5,6-9}V₆ і A_{2,6}B_{3,5,6-9}V₅, оскільки торцево-радіальна установка пружних стрижнів та пакетів пластинчастих пружин форми пласкої спіралі, O – подібної, U – подібної вигнутої, U – подібної увігнутої, S – подібної вигнутої, S – подібної увігнутої форм, еквівалентна їх торцевій установці, що зменшує загальну кількість варіантів розкриття матриці на N₈=12.

9. A_{1,3,4}B_{3,5,6-9}V₆ і A_{1,3,4}B_{3,5,6-9}V₅, оскільки торцево-радіальна установка гвинтових пружин, змієподібних та криволінійних пластинчастих пружин форми пласкої спіралі, O – подібної, U – подібної вигнутої та U – подібної увігнутої форм, еквівалентна їх торцевій установці, що зменшує загальну кількість варіантів розкриття матриці на N₉=18.

Нераціональними, або позбавленими сенсу є наступні варіанти:

1. A₁B_{2,4,8,9}V₁₋₈, оскільки пружний елемент, що являє собою гвинтову пружину форми гвинтової спіралі, змієподібної, S – подібної вигнутої та S – подібної увігнутої форм, викликати ускладнення при виготовленні та монтажу (є нетехнологічним), що зменшує загальну кількість варіантів розкриття матриці на N₈=32.

2. A₃B_{2,4,8,9}V₁₋₈, оскільки пружний елемент, що являє собою змієподібну пружину форми гвинтової спіралі, змієподібної, S – подібної вигнутої та S – подібної увігнутої форм, є нетехнологічним, що зменшує загальну кількість варіантів розкриття матриці на N₉=32.

3. A₄B_{2,4,8,9}V₁₋₈, оскільки пружний елемент, що являє собою криволінійну пластинчасту пружину форми гвинтової спіралі, змієподібної, S – подібної вигнутої та S – подібної увігнутої форм, є нетехнологічним, що зменшує загальну кількість варіантів розкриття матриці на N₁₀=32.

4. A₅B_{2,5}V₁₋₈, оскільки надання пружним дискам форми гвинтової та пласкої спіралей, змієподібної та O-подібної форм є неможливим, що зменшує загальну кількість варіантів розкриття матриці на N₁₁=32.

5. A₆B_{2,3}V₁₋₈, оскільки пружний елемент, що являє собою пакет пластинчастих пружин форми гвинтової та пласкої спіралей, та змієподібної форми, є нетехнологічним, що зменшує загальну кількість варіантів розкриття матриці на N₁₂=24.

6. A₇B₂₋₉V₁₋₈, оскільки пружний елемент, що являє собою пакет гільзових

пружин форми, відмінної від прямолінійної, є нетехнологічним, що зменшує загальну кількість варіантів розкриття матриці на $N_{13}=64$.

7. $A_8B_{2-9}V_{1-8}$, оскільки пружний елемент, що являє собою циліндр із прорізами, форми відмінної від прямолінійної, є нетехнологічним, що зменшує загальну кількість варіантів розкриття матриці на $N_{14}=64$.

8. $A_8B_{2-9}V_{1-8}$, оскільки пружний елемент, що являє собою сільфон, форми відмінної від прямолінійної, є нетехнологічним, що зменшує загальну кількість варіантів розкриття матриці на $N_{15}=64$.

Тоді дійсне число варіантів розкриття матриці складе:

$$N_d = N - N_1 - N_2 - N_3 - N_4 - N_5 - N_6 - N_7 - N_8 - N_9 - N_{10} - N_{11} - N_{12} - N_{13} - N_{14} - N_{15} = 648 - 8 - 8 - 32 - 8 - 32 - 9 - 6 - 12 - 18 - 32 - 32 - 32 - 24 - 64 - 64 - 64 = 171.$$

Таке зменшення кількості варіантів значно спрощує кінцевий аналіз. При цьому, жодне з технічних рішень не було пропущено.

Четвертий етап морфологічного аналізу передбачає також аналіз існуючих рішень.

Розглянемо основні реальні варіанти розкриття матриці. Наприклад, варіант $A_1B_1V_1$ реалізований в муфті "Сімплафлекс" [8] та їм подібних [9-11]; варіанти $A_1B_1V_3$ та $A_1B_1V_5$ реалізовані в муфтах "Корделіс" [8] та муфтах [12, 13]; варіант $A_1B_1V_2$ реалізований в муфті "Делі-Демаг" [14]. Варіант $A_2B_1V_1$ являє собою звичайний торсіонний вал; варіант $A_2B_1V_2$ реалізований в муфті Корейво з пружними стрижнями; варіант $A_2B_3V_1$ реалізований в муфтах [15, 16]; варіант $A_2B_6V_3$ реалізований в муфтах [17, 18]. Варіант $A_3B_5V_1$ реалізований в муфті зі змієподібною пружиною типу "Мальмеді"; варіант $A_3B_5V_5$ реалізований в муфті конструкції кафедри деталей машин ЛПІ ім. Калініна [14] та муфтах [18, 29]. Варіант $A_4B_1V_2$ реалізований в муфті з криволінійними пружинами. Варіант $A_5B_1V_1$ реалізований в муфті з проміжними дисками ГОСТ 26455-85 та в муфтах [20-23]. Варіант $A_6B_1V_2$ реалізований в муфті "Вальдрон" [14] та подібних; варіант $A_6B_1V_3$ реалізований в муфті з радіальними пакетами пружин [14]. Установка B_6V_3 реалізована в муфті "Мультикросс" з гумовими хомутами [8]; варіант $A_6B_9V_2$ реалізований в муфті [24]; варіант $A_6B_9V_3$ реалізований в муфті [25]. Варіант $A_7B_5V_2$ реалізований в муфті "Ренк" [8]. Варіант $A_8B_1V_1$ реалізований в муфті [26]. Варіант $A_9B_1V_1$ реалізований в муфті "Тулфлекс".

Таким чином, використання методу морфологічного аналізу підтверджує можливість створення на його базі реальних конструкцій муфт.

Виконаний огляд варіантів розкриття матриці прогнозування розвитку показав, що більшість можливих варіантів на теперішній час відомі, інші конструкції, очевидно, є нераціональними, тому вони не були реалізовані.

З виконаного огляду варіантів розкриття морфологічної матриці очевидно, що еволюція рухомих пружно-компенсуючих муфт з металевими пружними елементами, у відповідності до закону прогресивної еволюції техніки [4, 6], відбувається в напрямку збільшення компенсуючої та демпфуючої зда-

тності муфт, що відповідає сучасним тенденціям їх розвитку.

Так, у розвитку муфт з пружними стрижнями, після досягнення граничного покращення параметрів лінійних муфт (яким є параметричний екстремум за параметром жорсткості), відбувся перехід до нового технічного рішення – нелінійних муфт.

Після вичерпання можливостей удосконалення параметрів (енергомісткості, демпфуючої здатності) при незмінному принципі дії лінійних і нелінійних муфт із стрижнями (досягнення глобального екстремуму) відбувся перехід до іншого, більш раціонального, принципу дії – застосування в якості пружних елементів криволінійних пластинчастих пружин, причому вдалося підвищити енергомісткість муфт, за рахунок збільшення об'єму пружних елементів, та демпфуючу здатність, за рахунок збільшення кількості стиків.

Конструкції муфт з криволінійними пластинчастими пружинами розвивалися в напрямку удосконалення параметрів енергомісткості та компенсуючої здатності, що привело до появи нового технічного рішення – муфти із осью центральною установкою змієподібною пружини O-подібною форми. Розвиток цієї конструкції муфти, що початково була раціональною, і тому збереглася у вжитку майже в первинному вигляді, відбувався в напрямку підвищення технологічності виготовлення деталей муфти, за рахунок заміни зубців стрижнями, та виконання пружини з окремих частин. Після досягнення глобального екстремуму у розвитку цієї конструкції муфти, у вигляді муфт із торцевою установкою пружин, відбувається перехід до нового принципу дії – муфт із гвинтовими пружинами, в яких, за рахунок більш раціонального розміщення пружних елементів, вдалося збільшити енергомісткість.

Розвиток муфт з гвинтовими пружинами, починаючи від лінійних муфт з торцевою установкою пружин, відбувався в напрямку побудови нових технічних рішень – нелінійних муфт та муфт квазінульової жорсткості.

Після вичерпання можливостей удосконалення параметрів існуючих технічних рішень при торцевій установці пружин, з'явилися нові технічні рішення – муфти типу "Сімплафлекс", що характеризуються більшою компенсуючою здатністю за рахунок осьової центральної установки пружини, а також муфти типу "Делі-Демаг", що здатні до ефективного демпфування коливань, за рахунок збільшеної кількості стиків при осьовій паралельній установці по периферії муфти пакетів гвинтових пружин.

Муфти із пакетами пластинчастих пружин реалізують новий принцип дії, після досягнення муфтами з гвинтовими пружинами глобального екстремуму за параметром демпфуючої здатності. Муфти з радіальним розташуванням пакетів пружин проходять удосконалення за параметром жорсткості та демпфуючої здатності від лінійних до нелінійних конструкцій і досягають параметричного екстремуму в конструкції муфти "Гайслінгер", в якій реалізоване найбільш ефективне демпфування коливань за рахунок циркуляції мастила в щілинах між корпусом та пружними елементами. Після цього відбувається створення нового технічного рішення – муфти фірми "Вальдрон" з аксіальною установкою пакетів пружин. Наступним етапом удосконалення муфт з пакетами пласт-

тинчастих пружин, за параметром демпфуючої здатності, є поява муфти із S-подібною установкою пластин, та муфти з гільзовими пластинами фірми "Ренк", які, за рахунок збільшення поверхні тертя та відносних рухів пластин в кількох напрямках, характеризуються більшою демпфуючою здатністю.

Комплексний аналіз конструкцій муфт, що охоплює 648 конструкцій, на базі системного методу морфологічного аналізу, проведений вперше. Реальність з них 171 конструкції також показана вперше. Настільки велика кількість технічних рішень не може бути досягнута жодним конструктором, при цьому виключається пропуск будь-якого з варіантів.

Виконаний огляд та аналіз відомих конструкцій показав, що еволюція рухомих пружно-компенсуючих муфт з металевими пружними елементами, відбувається за законом прогресивної еволюції техніки в напрямку збільшення енергомісткості, компенсуючої та демпфуючої здатності, за рахунок розвитку конструкції, форм та установок (розташування) пружних елементів.

З виконаного, за допомогою морфологічного аналізу, прогнозування розвитку муфт, очевидно, що існуючі конструкції, форми та установки пружних елементів досягли, у своїй більшості, глобального екстремуму, тому прогнозується, що подальший розвиток муфт з металевими пружними елементами, у відповідності до закону прогресивної еволюції техніки, йтиме за рахунок реалізації нового принципу дії, що потребуватиме в майбутньому нових технічних рішень.

Таким чином, виконана робота, за рахунок створення цього прогнозу, дозволяє спростити пошук нових шляхів удосконалення рухомих пружно-компенсуючих муфт з металевими пружними елементами, що веде до економії часу, людських та матеріальних ресурсів.

Список літератури: 1. Детали машин / Андрієнко Л.А., Байков Б.А., Ганулич І.К. и др. / Под ред. О.А. Ряховского. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 544с. 2. Павлице В.Т. Основы конструирования та розрахунок деталей машин. – Львів.: Афіша, 2003. – 560с. 3. Иванов М.Н., Финогенов В.А. Детали машин. – М.: Высшая школа, 2008. – 408с. 4. Прогнозування розвитку технічних систем / Кузнецов Ю.М., Скляр Р.А. / Під заг. ред. Ю.М. Кузнецова. – К.: ТОВ "ЗМОК" – ПП "ГНОЗИС", 2004. – 323с. 5. Настасенко В.А. Морфологический анализ – метод синтеза тысяч изобретений. – К.: Техніка, 1994. – 44с. 6. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества. – М.: Машиностроение, 1988. – 368с. 7. Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н. Компьютерная поддержка изобретательства (методы, системы, примеры применения). – М.: Машиностроение, 1998. – 476с. 8. Справочник по муфтам / Ряховский О.А., Иванов С.С. / Под ред. О.А. Ряховского. – Л.: Политехника, 1991. – 384с. 9. Пат.43160 Україна, МКИ F16D 3/72. Пружно-компенсуюча муфта: Р.В. Комап. – №2001031831; Заявлено 20.03.2001; Опубліковано 15.11.2001, Бюл. №10. – 2с. 10. Пат. 45617 Україна, МКИ F16D 3/72. Еластична муфта: Р.В. Комап., І.Б. Гевко – №2001042847; Заявлено 25.04.2001; Опубліковано 15.04.2002, Бюл. №4. – 2с. 11. Пат.45618 Україна, МКИ F16D 3/72. Пружно-компенсуюча муфта: Р.В. Комап., І.Б. Гевко, Б.Б. Гладиш, Р.Я. Леуцк – №2001042848; Заявлено 25.04.2001; Опубліковано 15.04.2002, Бюл. №4. – 3с. 12. Упругая муфта: А.с.567867 СССР; МКИ F16D 3/56 / С.Л. Панов, Н.Ф. Киркач, В.С. Гапонов (СССР). – №2150647/27; Заявлено 01.07.75; Опубліковано 05.08.77, Бюл. №29. – 3с. 13. Упругая муфта: А.с.569770 СССР; МКИ F16D 3/56 / В.С. Гапонов, Н.Ф. Киркач, Л.В. Курмаз, С.Л. Панов (СССР). – №2117630/08; Заявлено 27.03.75; Опубліковано 25.08.77, Бюл. №31. – 2с. 14. Поляков В.С., Барбаиш И.Д. Муфты. – Л.: Машиностроение, 1973. – 336с. 15. Упругая муфта: А.с.333318 СССР; МКИ F16D 3/66 / Ю.В. Можжаев (СССР). – №1364416/25-27; Заявлено 20.08.69; Опубліковано 21.03.72, Бюл. №11. – 2с. 16. Упругая муфта: А.с.318749 СССР; МКИ F16D 3/58 / Ю.В. Можжаев (СССР). – №1493705/25-

27; Заявлено 30.11.70; Опубліковано 28.10.71, Бюл. №32. – 2с. 17. Упругая компенсационная муфта: А.с.1286850 СССР; МКИ F16D 3/74 / В.А. Друян, Е.А. Кретьинин, А.Б. Жуков, А.А. Ковальский (СССР). – №3955459/25-27; Заявлено 23.09.85; Опубліковано 05.08.77, Бюл. №4. – 2с. 18. Упругая муфта: А.с.1383028 СССР; МКИ F16D 3/56 / В.И. Лачугин, Г.Е. Филиппова (СССР). – №4021865/27; Заявлено 06.01.86; Опубліковано 23.03.88, Бюл. №11. – 3с. 19. Упругая муфта: А.с.706600 СССР; МКИ F16D 3/52 / В.А. Пестряков, А.М. Филатов, В.В. Точилкин (СССР). – №2595383/25-27; Заявлено 27.03.78; Опубліковано 30.12.79, Бюл. №48. – 2с. 20. Упругая муфта: А.с.720224 СССР; МКИ F16D 3/58 / Н.В. Василенко, П.М. Тривайло (СССР). – №2586484/25-27; Заявлено 02.03.78; Опубліковано 05.03.80, Бюл. №9. – 3с. 21. Пат.18516 Україна, МКИ F16D 3/50, 3/60. Пластинчаста муфта: П.П. Костенко, В.М. Бакуров, М.Г. Гірченко, О.Т. Ткаченко. – №4924975/SU; Заявлено 03.04.91; Опубліковано 25.12.97, Бюл. №6. – 4с. 22. Пат.49964 Україна, МКИ F16D 3/78 Муфта: В.С. Марциновський, В.Г. Грищенко. – №200020865; Заявлено 16.02.2000; Опубліковано 15.10.2002, Бюл. №10. – 2с. 23. Пат.66248 Україна, МКИ F16D 3/78 Пружна муфта: І.С. Скуба. – №2003098277; Заявлено 08.09.2003; Опубліковано 15.04.2004, Бюл. №4. – 3с. 24. Упругая муфта: А.с.969997 СССР; МКИ F16D 3/56 / Д.Н. Решетов, О.А. Ряховский, С.С. Иванов, К.А. Ходжазян (СССР). – №2807772/25-27; Заявлено 18.07.79; Опубліковано 30.10.82, Бюл.№40. – 3с. 25. Упругая муфта: А.с.1254220 СССР; МКИ F 16 D 3/74 / Н.А. Емельянов (СССР). – №3727103/25-27; Заявлено 11.04.84; Опубліковано 30.08.86, Бюл. №32. – 2с. 25. Попов О.П., Асланов Г.В., Садиков В.А., Лисов В.Т., Шмирін Ю.П. Инженерный метод расчета пружных муфт // Детали машин. – 1970. – Вып.11. – С.36–43.

Надійшла до редколегії 15.03.10

УДК 621.01(833)

Х.С. САМИДОВ, д.т.н., проф., зав. кафедрой АзАСУ, г. Баку, Азербайджан

ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ МАШИН И ЕЁ ФИЗИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗУЕМОСТЬ

Розроблена й реалізована методика оптимізації динамічних процесів і проектування електромеханічних систем машин.

Developed and implemented a technique for optimization of dynamic processes and design of electro-mechanical systems of machines.

Актуальность проблемы: Проблема оптимизации переходных процессов машин в настоящее время является предметом интенсивных теоретических и экспериментальных исследований. Поэтому разработка и реализация комплексных методов оптимизации динамических процессов электромеханических систем машин является актуальной проблемой и отвечает дальнейшему прогрессу современного машиностроения.

Анализ литературы. Существует довольно много научных трудов, посвященных методам оптимизации динамических процессов и оптимизации конструкций машин [1, 2, 3, 4, 5]. В оптимизации большую роль играют распространение пакетов программ. Такой пакет состоит из программ нескольких мето-